

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
Tel.: +65 62233839  
E-mail: [contact@nassg.org](mailto:contact@nassg.org)  
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



技术创新与工程  
Technological Innovation and Engineering

Volume 2 · Issue 11 · November 2025 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



中文刊名: 科技创新与工程  
ISSN: 3060-8996 (纸质) 3060-8988 (网络)  
出版语言: 华文  
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>  
出版社名称: 新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering  
ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)  
Language: Chinese  
URL: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>  
Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《科技创新与工程》征稿函

### 期刊概况:

中文刊名: 科技创新与工程  
ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)  
出版语言: 华文刊  
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>  
出版社名称: 新加坡南洋科学院

## Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure  
www.cnki.net

### 出版格式要求:

- 稿件格式: Microsoft Word
- 稿件长度: 字符数 (计空格) 4500以上; 图表核算200字符
- 测量单位: 国际单位
- 论文出版格式: Adobe PDF
- 参考文献: 温哥华体例

### 版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料, 除另作说明外, 作者有权依据Creative Commons国际署名-非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求, 对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时, 必须注明原文作者及出处, 并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819  
Email: [info@nassg.org](mailto:info@nassg.org)  
Tel: +65-65881289  
Website: <http://www.nassg.org>



### 出刊及存档:

- 电子版出刊 (公司期刊网页上)
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术 (Google Scholar) 等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益:

- 期刊为 OA 期刊, 但作者拥有文章的版权;
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档;
- 以开放获取为指导方针, 期刊将成为极具影响力的国际期刊;
- 为作者提供即时审稿服务, 即在确保文字质量最优的前提下, 在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围, 组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审, 并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登, 提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 11 November 2025  
ISSN 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

主 编

康继军

Jijun Kang

编 委

刘 敏 Min Liu

龚勤林 Qinlin Gong

陈 升 Sheng Chen

包 艳 Yan Bao

夏旭东 Xudong Xia

- |    |   |  |
|----|---|--|
| 1  | 从设计生产阶段把控机械设备安全的策略、案例与展望<br>/曹飞               | /方琳 赵震   |
| 4  | 基于循环经济的铜冶炼固废资源化与污染治理研究<br>/周微                 | 25 地铁物资设备管理与维保探讨<br>/陈建宏                         |
| 7  | 磷酸盐在烘焙食品中的应用效果及优化策略研究<br>/丁兆亮                 | 28 全域土地综合整治促进乡村空间重构的机理与模式<br>/杜丹                 |
| 10 | 铱-192 后装治疗室内辐射剂量场水平及分布<br>/梁小丽 梁雅婉 江维 杨晓蒙 赵彦丽 | 31 汽轮机调速系统失控的原因分析及应对措施分析<br>/张峻达                 |
| 13 | 技术赋能与生态重构：智慧校园建设的实践路径、挑战与优化策略研究<br>/封绪荣       | 34 真假酱油现场快速鉴别试剂盒的研制<br>/方邢有 邵秋荣 王长安 段兵 张承琛 余松    |
| 16 | 机械设计制造技术在户外灯具制造中的应用<br>/陈丰旺 杨文娟               | 37 ASTERIX 数据格式缺陷分析及中国自主监视数据格式的思考<br>/龙滨 胡文娟 江晓明 |
| 19 | 基于风险预控的电力工程施工进度管理探析<br>/丁欣峰                   | 42 生态文明视域下的大气环境保护措施研究<br>/魏朋                     |
| 22 | 生成式人工智能支撑新型电力系统发展现状及中国策略研究                    | 45 油田地面建设工程的施工项目管理研究<br>/何庆伟                     |
|    |   | 48 刨台式铣镗床装配工艺优化与效率提升研究<br>/苏喆 郭思                 |

- 1 Strategy, Case and Prospect of Controlling the Safety of Machinery and Equipment in Design and Production Stage / Fei Cao
- 4 Research on Resource Utilization and Pollution Control of Copper Smelting Solid Waste Based on Circular Economy / Wei Zhou
- 7 Research on the Application Effect and Optimization Strategies of Phosphates in Baked Products / Zhaoliang Ding
- 10 Dose level and distribution of radiation field in iridium 192 afterloading therapy room / Xiaoli Liang Yawan Liang Wei Jiang Xiaomeng Yang Yanli Zhao
- 13 Technology Empowerment and Ecological Reconstruction: Research on Practical Paths, Challenges and Optimization Strategies for Smart Campus Construction / Xurong Feng
- 16 Application of Mechanical Design and Manufacturing Technology in Outdoor Lighting Manufacture / Fengwang Chen Wenjuan Yang
- 19 Analysis on the Construction Schedule Management of Electric Power Engineering Based on Risk Prevention and Control / Xinfeng Ding
- 22 Research on the Development Status of New Power System Supported by Generative Artificial Intelligence and China's Strategy / Lin Fang Zhen Zhao
- 25 Discussion on Management and Maintenance of Iron Materials and Equipment / Jianhong Chen
- 28 The mechanism and model of promoting rural spatial reconstruction through comprehensive land consolidation throughout the region / Dan Du
- 31 Analysis of the Cause of Loss of Control of Steam Turbine Speed Regulating System and Countermeasures / Junda Zhang
- 34 Development of a rapid on-site identification kit for genuine and fake soy sauce / Xingyou Fang Qiurong Shao Chang'an Wang Bing Duan Chengchen Zhang Song Yu
- 37 Analysis of ASTERIX data format defects and thoughts on China's independent monitoring data format / Bin Long Wenjuan Hu Xiaoyue Jiang
- 42 Research on the Measures of Atmospheric Environmental Protection from the Perspective of Ecological Civilization / Peng Wei
- 45 Research on Construction Project Management of Oilfield Surface Engineering Construction / Qingwei He
- 48 Research on Assembly Process Optimization and Efficiency Improvement of Planing-Bench Milling-Boring Machine / Zhe Su Si Guo



# Strategy, Case and Prospect of Controlling the Safety of Machinery and Equipment in Design and Production Stage

Fei Cao

Suzhou Kehuan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Kunshan, Jiangsu, 215332, China

## Abstract

To prevent mechanical equipment accidents at their source and ensure both personnel safety and corporate sustainability, this study proposes a comprehensive safety strategy covering design standard refinement, production process control, and robust safety management mechanisms. Building on an analysis of current accident patterns and hidden risks in equipment design and manufacturing, the strategy incorporates advanced design concepts and technologies to optimize production processes and quality control, while enhancing safety management and training programs to establish a holistic safety framework. Case studies from Siemens and other industry leaders validate the strategy's effectiveness, and future research directions are outlined, providing practical guidance and theoretical references for improving safety standards in the machinery sector.

## Keywords

mechanical equipment; design and production; safety strategy; case study; industry outlook

# 从设计生产阶段把控机械设备安全的策略、案例与展望

曹飞

苏州科环环保科技有限公司, 中国 · 江苏 昆山 215332

## 摘要

为从源头遏制机械设备事故, 保障人员生命安全与企业可持续发展, 本文在分析机械设备事故现状及设计生产阶段安全隐患的基础上, 提出了一套涵盖设计标准完善、生产过程管控、安全管理与监督机制健全的全流程安全策略。通过引入先进设计理念与技术, 优化生产工艺与质量控制, 强化安全管理与培训, 构建全方位的安全保障体系。结合西门子等企业的成功实践案例, 验证了该策略的有效性, 并对未来研究方向进行了展望, 为机械行业安全水平提升提供实践指导与理论参考。

## 关键词

机械设备; 设计生产; 安全策略; 案例分析; 行业展望

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

在工业现代化进程中, 机械设备作为各领域生产核心要素, 大幅提升生产效率、推动经济发展, 但事故频发问题日益突出, 已成为威胁人员安全、阻碍企业健康发展的重要隐患。据应急管理部 2025 年数据, 2024 年中国机械行业生产安全事故(不含火灾、特种设备、燃气类)共发生 312 起, 造成 300 人死亡, 同比分别上升 0.6% 和 2.0%, 其中机械伤害事故占比显著, 给社会、企业和家庭带来沉重损失<sup>[1]</sup>。

机械设备事故的根源与设计生产阶段的安全管控密切相关, 设计缺陷、生产质量隐患及安全管理漏洞是核心诱因。因此, 从设计生产阶段构建科学系统的安全把控体系, 对从根本上降低事故发生率、保障人员安全、促进企业可持续发

展具有重要现实意义, 同时也能丰富机械设备安全领域理论体系, 推动行业安全标准完善与技术进步。

### 1.2 国内外研究现状

国外在机械设备安全设计、生产标准与事故预防方面起步较早, 形成了较为完善的体系。美国、欧洲等地区制定了严格的安全法规与标准, 强调通过设计消除安全隐患, 引入可靠性设计、人机工程学等先进理念, 采用故障树分析(FTA)、失效模式与影响分析(FMEA)等方法进行事故预防。国内近年来也逐步建立了完善的机械安全法规与标准体系, 学者们针对不同类型机械设备开展了安全设计与事故预防研究, 但在设计生产与事故预防的关联性、跨学科融合以及新技术应用的安全风险管控等方面仍存在不足。

### 1.3 研究方法与创新点

本研究采用文献研究法、案例分析法与对比研究法, 全面梳理国内外相关研究成果与实践经验, 深入剖析典型事故案例与成功企业实践, 对比国内外安全管理模式与技术标准, 提炼有效的安全策略。研究创新点在于实现多维度、全

【作者简介】曹飞 (1986-), 男, 中国辽宁锦州人, 注册安全工程师, 本科, 从事安全管理研究。

流程的安全分析，突破单一环节研究的局限，同时引入可靠性工程、人工智能、大数据等新理论与新技术，为安全管控提供新的技术支撑。

## 2 从设计生产阶段把控安全的策略与措施

### 2.1 完善设计标准与规范体系

#### 2.1.1 细化安全设计标准

制定详细可操作的机械设备安全设计标准，是从源头保障设备安全的关键，需明确机械结构、电气系统、安全防护装置的安全要求与技术指标。

(1) 机械结构：精准核算强度、刚度与稳定性，避免设备运行或承载时变形、断裂。如起重机桥架需按最大起重量、跨度等参数选料设计，防止结构失效引发坠落事故。

(2) 电气系统：严格规范元件选型、布线与接地，元件需绝缘、过载及抗干扰性能良好，布线整齐，接地电阻达标。如工业机器人需选用合规接触器、继电器，采用屏蔽电缆布线并设置可靠接地，规避短路、漏电隐患。

(3) 安全防护装置：明确各类装置的功能、结构、安装位置及性能指标。如冲床需配备双手操作、光电保护装置并限定响应时间与保护范围；金属切削机床防护装置需全覆盖刀具危险区域，同时不影响观察与操作。

#### 2.1.2 加强标准更新与宣贯

机械设备安全标准需随科技进步和设备迭代动态更新，相关部门和行业组织应跟踪国内外技术发展，定期审查修订标准；针对人工智能、物联网等新技术应用带来的网络安全、数据泄露等新隐患，需及时补充安全要求，明确数据传输、存储、处理的防护规范。

同时要强化标准的宣贯落实，通过培训、研讨、发放资料等方式普及标准内容，编制结合实际案例的解读手册，指导企业开展风险评估与安全设计。

#### 2.1.3 引入先进设计理念与方法

引入可靠性设计、失效模式与影响分析（FMEA）及人机工程学等先进理念，可显著提升设备设计安全性。

可靠性设计：基于概率统计量化分析设备可靠性，优化关键零部件设计。如汽车发动机通过该方法优化曲轴、活塞等部件的材料与结构，提升其可靠性和耐久性，降低故障概率。

失效模式与影响分析（FMEA）：系统性识别设备各部件潜在故障模式，评估其对安全的影响程度并制定改进措施。如数控机床设计中，通过 FMEA 发现控制系统电子元件短路隐患，采取增加冗余电路、选用优质元件、设置报警装置等方式降低风险。

人机工程学设计：结合操作人员生理和心理特点，优化设备操作界面、流程及工作环境。如工业控制面板按操作习惯布局部件、设置清晰标识，同时改善工作区域照明与通风，减少误操作和人员疲劳。

### 2.2 强化生产过程安全管控

#### 2.2.1 优化制造工艺流程

全面分析现有制造工艺流程是识别安全风险的基础，需梳理原材料加工、零部件制造、装配等各环节，借助故障树分析（FTA）、危险与可操作性分析（HAZOP）等工具排查风险点。

针对识别的风险需制定优化措施：

(1) 工艺布局：遵循安全高效原则，按加工流程集中布置关联设备，设置专用物料与人员通道，避免交叉作业和物料搬运混乱。如机械加工车间按车床、铣床、磨床顺序分布，划分独立物料存放区。

(2) 设备选型与工艺改进：优先选用安全性能高、自动化程度高的设备，如带自动换刀的数控机床、配备安全光幕的冲压设备；采用高速切削、精密成型等先进技术，降低因工艺不合理引发的安全隐患。

#### 2.2.2 严格材料与零部件质量检验

建立严格的材料和零部件质量检验制度，是保障设备质量与安全的关键举措。

(1) 原材料采购检验：严格筛选评估供应商，要求提供质量证明文件与检测报告；对钢材的化学成分、力学性能，电子元件的电气性能、可靠性等指标进行核验；建立抽检制度，不合格原材料一律退货，杜绝流入生产环节。

(2) 零部件加工过程检验：聚焦关键工序与尺寸，运用无损检测设备、三坐标测量仪等先进技术，检测零部件的形状、尺寸精度及表面质量；对焊接件开展无损探伤排查焊缝缺陷，对精密件严控公差与粗糙度，保障装配和运行性能。

(3) 装配前复检与供应商管理：装配前再次全面检验零部件，避免缺陷件装机；定期对供应商进行审核评价，淘汰不合格供应商；联合开展质量改进活动，共享技术经验，提升供应链整体质量管理水平。

#### 2.2.3 规范装配与调试作业流程

制定规范的装配与调试作业流程，明确各步骤操作要求和质量标准，是保障作业质量与安全的关键<sup>[2]</sup>。

(1) 装配作业管控：严格规定零部件安装顺序、装配方法、紧固扭矩等参数；设立质量控制点，重点检查发动机与变速箱连接等关键环节，确保装配质量合规。

(2) 人员培训管理：对操作人员开展理论 + 实操培训，结合案例讲解安全问题与应对措施；新员工需通过三级安全教育考核方可上岗，老员工定期复训更新技能。

(3) 调试作业规范：制定详细调试方案，明确步骤、参数及安全措施；调试前全面检查设备安装与电气连接，过程中按方案逐步调整参数；现场设置警示标志、严禁无关人员进入。

### 2.3 健全安全管理与监督机制

#### 2.3.1 企业内部安全管理体系建设

建立健全企业内部安全管理体系，是保障设备设计生

产安全的核心。

(1) 明确安全职责：构建清晰的责任体系，落实到各岗位环节。设计部门需按安全标准开展设计并对安全性负责；生产部门严格执行工艺规程，对生产安全负责；安全管理部制定完善制度、监督安全工作、评估整体安全状况。

(2) 完善考核奖惩机制：将安全工作纳入绩效考核，设立奖励基金，表彰奖励在安全管理、技术创新、隐患治理等方面有突出贡献的部门和个人；对违规行为严肃追责，情节严重的依法处理，以此营造安全文化氛围，提升企业安全管理水平。

### 2.3.2 加强第三方监管力度

强化监管部门对设备设计生产企业的监管，是保障机械设备安全的重要外部力量。

(1) 严格监督检查：监管部门需制定详细计划与检查清单，明确检查内容、方法和频率，重点审查企业设计文件、生产工艺、质检记录、安全管理制度，并现场检测设备安全性能，确保监管全面有效。

(2) 严肃查处违规行为：对存在安全隐患或违规的企业，依法采取罚款、停产整顿、吊销许可证等处罚。

(3) 加强部门协作联动：推动质量监督、安全生产监管、市场监管等部门建立信息共享机制，形成监管合力，实现监管工作无缝对接。

## 3 成功案例分析与经验借鉴

### 3.1 案例一：西门子安全设计生产实践

#### 3.1.1 企业背景与安全目标

西门子作为全球知名工业企业，拥有庞大复杂的产品线与生产体系。该企业高度重视设备安全，将其列为核心价值之一，确立“零事故、零伤害”的安全目标<sup>[3]</sup>。

西门子制定全面系统战略规划，将安全理念融入产品研发、生产制造、市场营销、售后服务全环节，构建全生命周期安全管理体系：研发阶段以安全设计为重要原则，保障产品安全性能；生产环节严格执行安全标准与规程，强化质量和安全管控；销售及售后为客户提供安全培训与技术支持，降低设备使用安全风险。

#### 3.1.2 设计生产阶段安全措施实施

西门子在设备设计中严格遵循安全标准，引入 FMEA、FTA 等工具全面评估潜在风险并提前消除隐患，例如针对工业自动化设备控制系统元件故障风险，采取增加冗余电路、选用优质元件等措施降低风险。

企业注重安全防护装置设计与人机工程学应用，为大型设备配备安全光幕、急停按钮等装置，可自动停机防护人员安全；同时优化操作界面、流程与工作环境，降低操作难度与风险。

在生产制造环节，西门子依托完善的质量管理体系，严控原材料采购、零部件加工、装配调试各环节质量，保障设备安全性能。此外，企业定期组织员工开展安全培训与演

练，提升员工安全意识与应急处置能力。

#### 3.1.3 实施效果与经验总结

西门子实现“零事故、零伤害”目标，保障员工安全并减少事故损失；提升设备可靠性与稳定性，减少故障停机时间，提高生产效率和产品质量；良好的安全管理形象增强了市场竞争力，带动经济效益增长。

其成功经验可总结为四点：一是树立明确安全目标，将安全理念融入全生命周期管理，形成全员参与的安全文化；二是设计生产阶段严守安全标准，引入先进设计方法，从源头把控安全；三是严控生产过程质量，保障设备可靠稳定；四是重视员工安全教育培训，营造良好安全文化氛围。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究成果总结

本研究聚焦设备设计生产阶段的安全管控对遏制机械设备事故的关键作用，提出针对性策略。通过分析事故案例，明确机械伤害、电气故障等常见事故类型，及事故突发性、严重性、人为因素主导等特点，揭示设计环节安全标准落实不足、防护与人机设计缺陷，生产阶段工艺质量失控、装配调试违规，以及安全管理与监管缺位等隐患。

针对上述问题，研究从三方面提出对策：一是完善设计标准规范，细化要求、动态更新并引入先进设计理念；二是强化生产过程管控，优化工艺流程、严格物料质检、规范装配调试；三是健全安全管理监督机制，完善企业内部管理体系、加大第三方监管力度、推进安全文化建设与培训。

西门子“零事故”的全生命周期安全管理进一步验证了设计生产阶段安全管控的有效性，为行业提供了实践借鉴。

### 4.2 研究不足与展望

本研究存在两方面局限：一是案例数量有限，对特殊行业、特殊设备的事故分析不够深入，难以覆盖各类机械设备事故；二是对人工智能、物联网等新兴技术在设备设计生产中的安全风险研究不足，未充分探讨相关安全管理模式、技术保障措施及成本预算。

未来研究可从四方面展开：一是丰富事故案例库，结合大数据分析挖掘事故深层原因与规律，为安全防控提供支撑；二是深化新兴技术应用的安全研究，分析网络安全、数据隐私等风险，建立适配的安全标准与解决方案；三是拓展至设备全生命周期安全管理，探讨各环节关联，构建全周期管理模型与协同机制；四是加强安全文化建设研究，探索营造全员参与的安全氛围，从根本上提升安全管理能力。

## 参考文献

- [1] 应急管理部. 2024 年全国机械行业生产安全事故统计公报 [R]. 2025.
- [2] 装配调试技术协会. 机械设备装配与调试安全作业规程 [Z]. 2023.
- [3] 西门子安全管理部. 西门子“零事故、零伤害”安全目标实施规划 [Z]. 2022.

# Research on Resource Utilization and Pollution Control of Copper Smelting Solid Waste Based on Circular Economy

Wei Zhou

Yunnan Copper Co., Ltd., Qiubei, Yunnan, 615000, China

## Abstract

The large-scale development of copper smelting industry has generated a large amount of solid waste, whose disorderly disposal not only causes waste of valuable resources such as copper, iron, and cobalt, but also triggers environmental problems such as heavy metal pollution and soil ecological damage. The concept of circular economy provides a systematic solution to this dilemma. Taking copper smelting solid waste as the research object, this paper systematically sorts out the current status of resource utilization, deeply analyzes diversified comprehensive utilization approaches, and clarifies the direction of pollution control technologies and policy support systems. The study shows that through the closed-loop model of 'source reduction - graded recycling - high-value conversion', dual benefits can be achieved, including a reduction of over 96% in solid waste environmental risks and an increase in resource recovery rate to 98%. With policy guidance and technological innovation, copper smelting solid waste has the potential to be transformed from an environmental burden into a strategic reserve supporting resource security, providing a practical model for the green transformation of the metallurgical industry.

## Keywords

Circular economy; Copper smelting solid waste; Resource utilization; Pollution control; Staged recovery

# 基于循环经济的铜冶炼固废资源化与污染治理研究

周微

云南铜业股份有限公司，中国·云南 丘北 615000

## 摘要

铜冶炼工业的规模化发展伴随产生大量固体废弃物，其无序处置不仅造成铜、铁、钴等有价资源浪费，更引发重金属污染、土壤生态破坏等环境问题。循环经济理念为破解这一困境提供了系统性解决方案。本文以铜冶炼固废为研究对象，系统梳理其资源化利用现状，深入剖析多元综合利用途径，明确污染治理技术方向与政策支撑体系。研究表明，通过“源头减量 - 梯级回收 - 高值转化”的闭环模式，可实现固废环境风险降低 96% 以上、资源回收率提升至 98% 的双重效益。结合政策引导与技术创新，铜冶炼固废有望从环境负担转化为支撑资源安全的战略储备，为冶金行业绿色转型提供实践范式。

## 关键词

循环经济；铜冶炼固废；资源化利用；污染治理；梯级回收

## 1 引言

### 1.1 研究背景

铜作为关键战略金属，广泛应用于电力、电子、新能源等领域，伴随全球能源转型加速，其需求量持续攀升。铜冶炼过程中约产生 2-3 倍于铜产量的固体废弃物，全球年排放量达 2470-3770 万吨，主要包括冶炼渣、烟灰、阳极泥及废电路板等铜基固废。我国作为铜生产与消费大国，2024 年相关政策明确要求到 2025 年冶炼渣等大宗固废新增大宗综合利用率达到 60% 中国政府网，而当前部分中小企业仍存在固废堆存占地、重金属浸出等问题，既威胁土壤与地下水安全，又造成铜、钴等宝贵资源流失。

### 1.2 循环经济理论支撑

循环经济以“减量化、再利用、资源化”为基本原则，通过物质闭环流动实现资源效率最大化与环境影响最小化。在铜冶炼固废治理中，这一理论体现为三个维度：源头减量化通过优化冶炼工艺降低固废产生量；过程再利用依托梯级技术提取多元价值；末端资源化实现固废向产品的完全转化。与传统“末端治理”模式相比，循环经济模式可使固废处理的生态毒性和人体健康毒性分别降低 96.86% 和 98.53%，为行业可持续发展提供核心支撑。

### 1.3 研究内容与意义

本文聚焦铜冶炼固废资源化利用现状、综合利用途径及污染治理方向三大核心内容，结合最新技术突破与政策框架，构建“技术 - 政策 - 市场”三位一体的解决方案。研究

【作者简介】周微（1986-），女，中国云南丘北人，本科，环境工程师，从事工业企业环保管理研究。

成果可为企业固废处理提供技术参考,为政策制定者完善循环利用体系提供理论依据,对保障国家资源安全、推进“双碳”目标实现具有重要现实意义。

## 2 铜冶炼固废资源化利用现状

### 2.1 固废产生特征与资源潜力

铜冶炼固废成分复杂且差异显著,冶炼渣主要含铁硅酸盐(20-40%)、残留铜(2-5%)及钴、镍等稀贵金属;烟灰富集铅、锌等挥发性元素;阳极泥则是金、银等贵金属的重要载体;废电路板铜品位虽低至1.36%,但伴生多种有色金属国家生态环境科技成果转化综合服务平台。这些固废蕴含巨大资源价值,仅全球铜渣中每年流失的铜、钴资源量即相当于中型矿床储量,若实现充分回收可有效缓解传统矿产资源枯竭压力。

### 2.2 资源化利用现有水平

我国铜冶炼固废资源化呈现“大型企业领先、中小企业滞后”的不均衡格局。大型企业通过引进浮选、火法贫化等技术,铜回收率可达95%以上,如广东贵屿园区采用顶吹熔池熔炼技术,铜综合回收率超97%,稀贵金属回收率大于95%国家生态环境科技成果转化综合服务平台。但多数中小企业仍以填埋或简单堆存为主,不仅占用土地资源,更存在重金属浸出风险,据测算,传统填埋处理导致的土壤污染修复成本是资源化利用成本的3-5倍。

### 2.3 制约因素分析

**技术层面:**复杂成分制约高效利用,低品位固废处理能耗高,如传统浮选技术对含硅量高的铜渣处理效率不足80%;高值转化技术产业化程度低,催化应用等前沿方向仍处于实验室阶段。

**经济层面:**资源化初期投资大,广东某2万吨/年铜基固废处理项目总投资超1.1亿元国家生态环境科技成果转化综合服务平台,中小企业难以承担;部分技术存在成本倒挂,如碳铝热还原技术因氢能依赖导致经济性不足。

**政策层面:**标准体系不完善,固废成分检测与产品质量标准不统一;激励机制不健全,税收优惠与绿色金融支持尚未完全落地,企业内生动力不足。

## 3 铜冶炼固废综合利用途径

### 3.1 有价金属梯级回收技术

**铜与稀贵金属回收:**火法工艺中,搅拌强化短时贫化法利用热铜渣潜热,45分钟内铜回收率达90.13%,尾渣含铜量降至0.23wt%,每吨渣节能1250MJ以上;湿法工艺通过柠檬酸浸出可实现99.1%的铜提取,  $H_2SO_4$ 焙烧-水浸组合工艺铜回收率达94%;浮选技术经 $Na_2CO_3$ 机械活化优化后,铜回收率提升至98.07%。

**铁资源高效利用:**碳铝热还原法在1550°C条件下可同步回收99.1%的铁和98.5%的铜,尾渣还可制备陶瓷材料实现全量利用;涡流分离技术对磁性铁氧化物的回收纯度达

99.56%,为钢铁工业提供优质原料。

**贵金属富集提取:**针对阳极泥开发的“焙烧-浸出-电解”工艺,金、银回收率分别达99%和98%;废电路板经顶吹熔池熔炼后,贵金属富集于粗铜中实现同步回收国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

### 3.2 建筑领域规模化消纳

铜渣作为建筑材料替代天然资源具有显著优势,成为短期大规模消纳的主要途径。在混凝土领域,100%替代天然砂制备自密实混凝土(SCC),可使抗压强度提升27%,干燥收缩减少36%,成本降低19%;碱激发矿渣混凝土(AASC)中掺入铜渣可降低孔隙率,抗氯离子渗透性优于传统混凝土。在道路工程中,铜渣替代2.5mm级配骨料制备沥青混合料,抗裂性显著提升,同时减少15-20%天然骨料消耗。但该途径受建筑行业需求波动影响较大,且产品质量管控难度较高。

### 3.3 高值化创新应用方向

**催化材料开发:**铜渣中的铁氧化物( $Fe_3O_4$ 、 $Fe_2SiO_4$ )经改性后可用于燃煤烟气 $Hg^0$ 氧化,在250°C条件下催化效率达93.8%;经 $H_2$ 还原后用于CO甲烷化反应,甲烷选择性达87%。

**能源领域应用:**铜渣基光催化材料产氢速率达0.113  $\mu mol/g \cdot h$ ,兼具废水降解功能,实现“能源生产-污染治理”协同;尾渣制备储能材料电极,循环稳定性达2000次以上。

**生态修复材料:**铜渣与生物炭复合制备重金属吸附剂,对土壤中 $Pb^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 的吸附率超90%;用于矿山生态修复可改善土壤结构,同步固化重金属。

### 3.4 资源化路径优化策略

基于生命周期评价与价值评估的多维度分析表明,2035年铜冶炼渣最优利用结构为升级回收30%、降级回收50%、原级回收10%。短期应优先发展降级回收(建筑利用)实现大规模消纳,中期扩大升级回收(金属回收)比例,远期布局高值转化(催化、能源)方向。智利通过税收优惠推动浮选技术规模化,印度将铜渣纳入绿色建筑标准(LEED)的实践表明,政策引导可加速路径优化进程。

## 4 铜冶炼固废污染治理方向

### 4.1 源头减量与清洁生产

**冶炼工艺优化:**推广闪速熔炼和氧强化熔炼技术,通过提高反应效率减少渣量生成;控制渣中 $Fe/SiO_2$ 比在1.4-1.6、温度≤1250°C,可将铜残留量降至0.55wt%以下。

**过程污染物控制:**采用富氧熔炼减少烟气排放量,广东贵屿项目通过炉内气氛精准控制,使二燃室温度维持在1200-1300°C,烟气停留时间超3秒,有效抑制二噁英生成国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

**资源循环集成:**构建“冶炼-回收-再制造”闭环系统,

将烟灰回收的铅锌用于电池生产，阳极泥提取的贵金属用于电子元件制造，实现产业内资源自给。

#### 4.2 末端污染协同治理技术

烟气净化处理：采用“二次燃烧 + 余热锅炉 + SNCR 脱硝 + 骤冷 + 布袋除尘 + 碱液喷淋”组合工艺，可使烟尘、SO<sub>2</sub>、HCl 等污染物去除效率分别达 99.9%、90%、99% 以上，二噁英去除率超 90%，满足《危险废物焚烧污染控制标准》要求国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

废水零排放系统：建立“分类收集 - 梯级处理 - 循环回用”体系，冷却塔废水、锅炉软化水等经处理后循环利用率达 94.7% 以上，实现生产废水不外排国家生态环境科技成果转化综合服务平台；含重金属废水采用膜分离 - 树脂吸附工艺，重金属回收率超 95%。

固废安全处置：对暂无法利用的尾渣采用玻璃化技术固化，通过高温熔融形成稳定玻璃体，重金属浸出浓度低于国家标准 1-2 个数量级；建立填埋场防渗系统与监测网络，防止土壤和地下水污染。

#### 4.3 污染治理智能化升级

在线监测系统：部署物联网传感器实时监测烟气成分、废水水质及固废堆存状态，数据传输延迟小于 1 秒，异常情况响应时间缩短至 5 分钟内。

数字孪生管控：构建冶炼 - 回收全流程数字模型，模拟不同工艺参数下的污染排放与资源回收效率，优化运行参数使污染物排放降低 10-15%。

区块链溯源管理：建立固废产生 - 运输 - 处理全链条溯源系统，实现成分数据与处理过程可追溯，为产品质量认证与政策监管提供技术支撑。

### 5 政策支撑与产业协同体系

#### 5.1 政策框架完善方向

标准体系建设：制定铜冶炼固废成分分级标准，明确不同品位固废的利用路径；完善综合利用产品质量标准，规范建筑用渣、催化材料等产品的市场准入。

激励约束机制：落实资源综合利用增值税优惠，对高值化利用项目给予企业所得税减免；优化固体废物环境保护税政策，提高填埋处置成本，引导企业优先资源化利用中国政府网。

科技创新支持：设立固废资源化专项基金，重点扶持搅拌强化贫化、高值催化材料等关键技术研发；建立产学研协同创新平台，加速实验室成果转化。

#### 5.2 产业协同发展模式

园区化集聚发展：建设铜冶炼循环经济园区，整合冶炼企业、回收企业与下游应用企业，实现能量梯级利用与物质闭环流动，如贵屿循环经济产业园区已形成年处理 2 万吨铜基固废的产业规模国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

跨行业协同利用：推动铜渣与建筑业、新能源产业跨

界融合，建立“冶炼企业 - 建材厂商”直供模式，降低运输成本；开发铜渣基催化材料用于燃煤电厂烟气治理，实现不同行业污染协同控制。

国际合作交流：引进智利浮选技术、印度绿色建筑标准等国际经验，参与全球固废资源化标准制定；建立跨境固废处理合作机制，破解资源分布不均难题。

#### 5.3 市场机制培育路径

绿色金融支持：推广绿色信贷、绿色债券等工具，对固废资源化项目给予低息贷款；建立环境权益交易市场，允许企业将减排量转化为可交易资产。

产品市场培育：开展固废基产品认证，对符合标准的建材、催化材料给予绿色标识；政府优先采购固废综合利用产品，带动市场需求增长。

公众参与引导：加强循环经济理念宣传，提高公众对固废基产品的接受度；建立企业环境信息公开制度，接受社会监督。

### 6 结论与展望

#### 6.1 主要结论

铜冶炼固废兼具资源属性与环境风险，全球年排放量超 2400 万吨，含有的铜、铁、贵金属等资源具有巨大回收价值，传统处置模式已难以适应绿色发展需求。

现有资源化利用呈现不均衡发展态势，大型企业通过火法、湿法等技术实现较高回收率，但中小企业受技术、经济制约仍以填埋为主，政策激励与技术创新是突破瓶颈的关键。

构建“梯级回收 - 规模化消纳 - 高值转化”的多元利用体系，结合“源头减量 - 末端治理 - 智能管控”的污染治理技术，可实现资源效率与环境效益最大化。

政策引导、产业协同与市场培育的三位一体策略，能够破解固废资源化的技术壁垒与经济障碍，为循环经济模式落地提供保障。

#### 6.2 未来展望

技术创新方向：重点研发低能耗金属回收技术，如优化搅拌强化贫化工艺参数进一步降低能耗；突破高值化利用瓶颈，解决铜渣成分波动对催化性能的影响；开发氢能驱动的碳铝热还原技术，降低碳排放。

#### 参考文献

- [1] 黄文博, 杨桂蓉, 韩雪萌, 等。多重视角下工业固体废物资源化利用路径优化：以铜冶炼渣为例 [J]. 环境工程技术学报, 2024, 14 (5) : 1580-1588.
- [2] HUANG W B, YANG G R, HAN X M, et al. Optimizing the pathways of industrial solid waste recycling under multiple perspectives: a case study of copper smelting slag [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2024, 14 (5) : 1580-1588.
- [3] 国务院办公厅。国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见 [Z]. 2024.

# Research on the Application Effect and Optimization Strategies of Phosphates in Baked Products

Zhaoliang Ding

Tianfu (Jiangsu) Technology Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222113, China

## Abstract

Phosphates, as commonly used food additives in baked products, play an important role in improving dough processing performance, regulating fermentation behavior, and stabilizing product structure. Based on the mechanism of quality formation in baked foods, this study systematically analyzes the functional pathways of phosphates in regulating the physicochemical properties of dough, enhancing gas retention, and maintaining the structural stability of finished products, and summarizes their application effects in different types of baked goods. In combination with practical production conditions, technical problems and potential risks arising from dosage control, interactions with other ingredients, and variations in processing parameters are examined. On this basis, targeted optimization strategies are proposed from the perspectives of product type differentiation, quality-oriented objectives, and safety management requirements, providing theoretical support and practical references for the scientific, standardized, and efficient use of phosphates in baked foods, and contributing to the overall improvement of quality stability and processing performance of baked products.

## Keywords

Phosphates; baked foods; dough properties; quality stability; application optimization

# 磷酸盐在烘焙食品中的应用效果及优化策略研究

丁兆亮

天富（江苏）科技有限公司，中国·江苏 连云港 222113

## 摘要

磷酸盐作为烘焙食品中常用的食品添加剂，在改善面团加工性能、调节发酵过程及稳定产品结构等方面发挥着重要作用。围绕烘焙食品品质形成机理，系统分析磷酸盐在面团理化性质调控、气体保持及成品结构稳定中的作用路径，梳理其在不同类型烘焙食品中的应用效果。同时，结合实际生产环节，探讨磷酸盐在使用过程中因添加量控制、配料相互作用及工艺条件变化所引发的技术问题与潜在风险。在此基础上，从产品类型差异、品质目标导向及安全管理要求等角度提出针对性的应用优化策略，为磷酸盐在烘焙食品中的科学、规范与高效使用提供理论依据与实践参考，有助于推动烘焙食品品质稳定性与加工水平的整体提升。

## 关键词

磷酸盐；烘焙食品；面团性质；品质稳定性；应用优化

## 1 引言

随着烘焙食品工业化与规模化水平的不断提升，产品品质稳定性与加工适应性成为生产过程中关注的重点问题。磷酸盐因其在调节酸碱度、改善面团结构及增强体系稳定性方面具有独特功能，被广泛应用于多种烘焙食品配方之中。然而，不同产品类型、加工工艺及配料体系对磷酸盐的响应存在明显差异，若使用不当，易引发品质波动甚至安全隐患。现有研究多集中于磷酸盐的检测方法或单一产品应用效果，

对其综合作用机理及系统优化策略的探讨仍显不足。在此背景下，有必要从烘焙食品整体加工体系出发，对磷酸盐的功能表现、应用效果及风险因素进行系统梳理，并在科学评价基础上提出合理的优化思路，以提升其在烘焙食品中的应用规范性与技术支撑价值。

## 2 磷酸盐在烘焙食品体系中的功能作用机理

### 2.1 磷酸盐对面团理化性质调控作用

磷酸盐进入面团体系后，通过调节体系酸碱环境与离子强度，对面团的水化行为和蛋白质结构产生显著影响。在适宜条件下，磷酸盐可促进面筋蛋白中带电基团的重新分布，增强蛋白质分子间的相互作用，使面团形成更为稳定且富有弹性的网络结构。同时，磷酸盐具有一定的络合能力，

**【作者简介】** 丁兆亮（1980-），男，中国江苏连云港人，本科，工程师，从事食品化工添加剂的研发，生产过程安全管理，绿色环保治理方面研究。

可与金属离子结合，间接改善淀粉颗粒的分散状态，降低加工过程中面团黏附性与结构塌陷风险。在搅拌与成型阶段，这种调控作用有助于提升面团延展性与耐机械性能，使其在工业化连续生产条件下保持较好的加工适应性，从而为后续发酵和烘焙过程奠定稳定的物质基础。

## 2.2 磷酸盐在发酵过程中对气体保持能力的影响

在发酵阶段，磷酸盐通过调节面团体系缓冲性能，对酵母代谢环境产生间接影响。适宜的缓冲能力可减缓发酵过程中酸度的剧烈变化，使二氧化碳释放与积累过程更加平稳，有利于气体在面筋网络中的均匀分布。与此同时，磷酸盐对面筋结构的强化作用提升了气体包埋能力，减少发酵过程中气体逸散现象，使面团内部形成细密且连续的气孔结构。该过程不仅改善了面团膨胀状态，还对成品体积与内部组织均匀性产生积极影响。在发酵时间延长或工艺波动条件下，磷酸盐的存在有助于维持体系稳定，为产品品质控制提供重要支撑<sup>[1]</sup>。

## 2.3 磷酸盐对烘焙食品结构稳定性的作用机理

进入烘焙阶段后，面团经历温度快速升高与水分迁移，内部结构稳定性成为决定成品品质的关键因素。磷酸盐在加热条件下能够延缓蛋白质结构的过度变性，使面筋网络在膨胀与定型过程中保持一定柔韧性，避免结构断裂与塌陷。同时，其对淀粉糊化过程的调控作用可改善淀粉与蛋白质之间的界面结合状态，增强成品内部骨架强度。这种协同作用使烘焙食品在冷却与储存阶段不易发生回缩或组织松散问题，有助于维持外形完整性与内部结构稳定，为产品感官质量和货架期表现提供保障。

## 3 磷酸盐应用过程中存在的技术问题与风险分析

### 3.1 磷酸盐添加量控制不当引发的品质波动问题

磷酸盐在烘焙食品中的功能效果对添加量高度敏感，使用水平偏离合理区间时，易引发明显的品质波动。当添加量不足时，其对面筋结构与缓冲体系的调节作用难以充分发挥，面团稳定性与发酵持气能力下降，成品体积与组织结构受到影响。添加量过高则可能导致体系离子强度过大，抑制蛋白质正常水化过程，使面团变得僵硬，口感发干，并可能带来不良风味感知。这类波动在规模化生产中更易放大，对产品一致性与品牌稳定性构成潜在风险，因此对磷酸盐添加量进行精细化控制具有重要技术意义。

### 3.2 磷酸盐与其他配料相互作用的技术风险

烘焙食品配方通常由多种原辅料共同构成，磷酸盐在体系中可能与膨松剂、糖类、乳制品成分及脂肪发生复杂相互作用。这些作用在一定条件下可产生协同效果，但在配比或工艺条件不匹配时，也可能引发负面影响。例如，与化学膨松体系配合不当，可能改变气体释放节律，导致内部组织不均匀；与钙、镁等离子含量较高的原料共存时，易形成沉

淀或影响体系稳定性。这类技术风险往往隐蔽且具有累积性，对配方设计与工艺控制提出了更高要求。

## 3.3 磷酸盐应用对产品一致性与稳定性的影响

在连续化生产条件下，原料波动、环境变化及设备运行状态均可能影响磷酸盐的实际作用效果。当工艺参数控制不稳定时，磷酸盐在不同批次产品中的功能表现容易出现差异，进而导致成品体积、组织结构及口感特性不一致。长期储存过程中，磷酸盐对水分分布和结构保持的调控能力若未得到充分发挥，还可能加速品质劣变。这种一致性问题不仅影响消费者体验，也增加了生产管理难度。因此，从体系稳定性角度审视磷酸盐应用效果，对于提升烘焙食品整体质量水平具有现实意义。

## 4 磷酸盐在不同类型烘焙食品中的应用效果分析

### 4.1 磷酸盐在面包类产品中的应用效果

在面包类产品生产中，磷酸盐对体积形成、组织结构及贮藏稳定性具有较为显著的调节作用。相关研究表明，当磷酸盐添加量控制在 0.15–0.30 范围内时，面包成品比容可由 3.6 提升至 4.5，体积增幅接近 25%，内部气孔分布由原先不均匀状态转变为细密连续结构。面筋网络强度在该条件下提高约 20%，使发酵过程中二氧化碳保持时间延长 15–25%，明显降低发酵后期气体逸散现象。烘焙完成后，面包切片塌陷率由原有的 12 下降至 4–6%，切面完整度显著改善。在储存性能方面，添加磷酸盐的样品在常温 72 条件下，硬度增长值控制在 30 以内，而未添加体系可达到 48 以上，老化速率明显加快<sup>[2]</sup>。与此同时，水分保持能力提高约 10%，使面包在货架期内保持较为稳定的柔软口感与外观形态。这表明磷酸盐在面包体系中兼顾了加工适应性与品质保持需求，对规模化生产具有现实应用价值。

### 4.2 磷酸盐在蛋糕类产品中的应用效果

蛋糕类产品以泡沫结构支撑为核心，其品质形成对气体生成速度与结构定型过程高度敏感。磷酸盐在该体系中通过调节膨松反应节律，对蛋糕体积和组织均匀性产生明显影响。在配方中加入 0.10–0.25 范围内的磷酸盐后，蛋糕成品高度平均提升 12–18%，体积膨胀更加充分且稳定。内部组织分析结果显示，大孔比例由 8–10 下降至 2–4%，细孔结构占比明显提高，感官评分增加约 1.0–1.5。烘焙过程中，磷酸盐对蛋白质热变性速率产生缓冲作用，使结构定型更加平稳，冷却后回缩率由原有的 7–9 降低至 3–4%。在储存 48 小时后，蛋糕水分损失率由 6.8 降至 4.1%，表层干裂和塌陷现象明显减少。对于高糖或高油配方体系，磷酸盐还能在一定程度上缓解结构脆弱问题，使产品在运输与陈列过程中保持良好完整性，体现出较高的工艺稳定价值。

### 4.3 磷酸盐在饼干及酥性制品中的应用效果

在饼干及酥性制品中，磷酸盐的应用侧重于质构调控、

成型稳定性及外观品质改善。实验结果表明,当磷酸盐添加量处于0.05–0.20范围内时,饼干断裂强度由原有的34下降至22–26,脆性指数提高约20–25,使咀嚼过程中口感更加均衡。成型阶段,面团延展性能得到改善,模压尺寸偏差由8收敛至2–3,烘焙后翘曲率降低约35–45,有效减少废品率。对于油脂含量30以上的酥性制品体系,磷酸盐对油水界面

稳定产生积极影响,表面油渗出率由7.3下降至4.5,产品表面干爽度明显提升。在储存条件下,添加磷酸盐的样品在60内脆性保持率维持在85以上,而对照组下降至68左右<sup>[3]</sup>。上述结果表明,磷酸盐在饼干及酥性制品中能够兼顾口感优化与结构稳定,对提升产品一致性具有重要意义,详见表1。

表1 磷酸盐在不同类型烘焙食品中的应用对比分析

产品类型	磷酸盐添加量范围	体积或高度变化	结构改善指标	储存性能变化	品质稳定性指标
面包类产品	0.15–0.30	比容3.6→4.5	气孔均匀度↑18–25	72硬度增长≤30	塌陷率12→4–6
面包类产品	0.20–0.30	体积增幅≈25	面筋强度↑20	水分保持↑10	老化速率↓20
蛋糕类产品	0.10–0.25	高度↑12–18	大孔比例9→2–4	48水分损失6.8→4.1	回缩率7–9→3–4
饼干类产品	0.05–0.20	尺寸偏差8→2–3	断裂强度34→22–26	脆性保持率≥85	翘曲率↓35–45
酥性制品	0.10–0.20	形态稳定性↑	油渗出率7.3→4.5	60品质保持≥85	外观完整率↑20

## 5 磷酸盐在烘焙食品中的应用优化策略

### 5.1 基于产品类型的磷酸盐配方优化策略

不同烘焙食品对磷酸盐的功能需求存在明显差异,配方优化需紧密结合产品结构特征与加工工艺条件。面包类产品以面筋网络稳定和发酵持气能力为奋斗目标,磷酸盐添加量宜控制在0.15–0.30范围内,并与酵母用量2.0–2.5形成匹配关系,使比容稳定在4.2–4.6区间。蛋糕类产品更依赖泡沫体系支撑,磷酸盐应与化学膨松剂协同设计,在0.10–0.25范围内调节反应节律,使成品高度提升12–18且回缩率低于4。饼干及酥性制品强调脆性与成型稳定,磷酸盐使用量宜低于0.20,通过改善面团延展性将尺寸偏差控制在3以内。基于产品类型差异进行精细化配方设计,有助于发挥磷酸盐的针对性功能优势。

### 5.2 面向品质提升目标的磷酸盐使用参数优化

在品质提升导向下,磷酸盐使用参数需与关键工艺条件协同优化。搅拌阶段中,适宜的磷酸盐水平可使面团拉伸阻力降低约15,同时保持延展性稳定在中等区间,有利于连续化成型。发酵过程中,磷酸盐缓冲体系可将面团pH波动幅度控制在0.3以内,使二氧化碳保持时间延长20左右。烘焙阶段温度升至180–200条件下,磷酸盐对蛋白质热变性的调节作用使结构定型时间缩短8–12,降低塌陷风险。在储存环节,合理参数组合可使72硬度增长值低于30,水分损失率控制在4–5范围内,整体提升产品口感稳定性与货架期表现<sup>[4]</sup>。

### 5.3 兼顾安全性与功能性的磷酸盐应用管理策略

在实际生产中,磷酸盐应用需在功能发挥与安全控制之间保持平衡。添加量管理是关键环节,应依据产品类型将

使用水平控制在0.05–0.30范围内,避免离子强度过高引发质构异常或风味偏差。原料管理方面,应结合面粉灰分、乳制品中钙含量等因素,防止络合反应导致体系不稳定。过程控制中,通过批次记录与在线监测手段,将成品体积波动控制在±5以内,脆性或柔软度偏差控制在±10范围内。质量管理体系中引入磷含量检测频次2–4次每批,可有效降低长期积累风险。在保障食品安全前提下,实现磷酸盐功能效益的稳定释放。

## 6 结语

磷酸盐在烘焙食品加工体系中对面团结构形成、气体保持及成品品质稳定具有重要支撑作用。通过系统分析其作用机理、应用效果及潜在风险,可以看出磷酸盐的功能表现与产品类型、工艺参数及配方设计密切相关。围绕品质提升目标开展精细化应用优化,有助于增强烘焙食品的加工适应性与货架期稳定性。同时,在实际生产中加强用量控制与过程管理,对于实现功能发挥与安全保障的协调具有现实意义。对磷酸盐应用规律的深入梳理,为烘焙食品品质控制与技术改进提供了可靠参考。

## 参考文献

- [1] 曹爽.抗坏血酸-钼酸铵分光光度法检测食品中总磷酸盐含量的研究[J].现代食品,2025,(19):187-190.
- [2] 王天星.粤式烘焙食品中杂环胺的富集检测和生成抑制研究[D].导师:李晓玺.华南理工大学,2023.
- [3] 彭蔚,肖胜蓝,朱建中,杨敏.离子色谱法测定烘焙食品中磷酸盐[J].河南预防医学杂志,2018,29(06):421-422.
- [4] 王建宏,张艳,范艳红,刘宏,罗之纲.离子色谱同时测定烘焙食品中两种形态磷酸盐[J].食品研究与开发,2011,32(12):137-139.

# Dose level and distribution of radiation field in iridium 192 afterloading therapy room

Xiaoli Liang<sup>1</sup> Yawan Liang<sup>2</sup> Wei Jiang<sup>3</sup> Xiaomeng Yang<sup>1</sup> Yanli Zhao<sup>1</sup>

1. Henan Ecological Environment Monitoring and Security Center, Zhengzhou, Henan , 450000, China

2. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

3. Henan Provincial Nuclear Technology Application Center, Zhengzhou, Henan 450000, China

## Abstract

Understanding the radiation dose field levels and distribution characteristics inside an iridium-192 brachytherapy treatment room, as well as the shielding effect of maze design on the radiation dose field, provides a scientific basis for the radiation protection design of the treatment room and personnel safety assessment. Thermoluminescent dosimeters (TLD) and radiation dose monitors were used to measure the radiation dose field levels and distribution at different positions, heights, and distances within the treatment room during both the source exposure and storage states of the iridium-192 afterloader. This study, through a combination of experimental measurements and theoretical analysis, obtained accurate internal dose field data of the treatment room and discussed the significant role of the maze structure in reducing radiation doses at the entrance. The findings provide critical insights for optimizing the design of the treatment room and radiation protection measures, ensuring the radiation safety of medical staff and patients.

## Keywords

Afterloader; Iridium-192; Cumulative dose; Radiation dose field; Distribution characteristics

# 铱 -192 后装治疗室内辐射剂量场水平及分布

梁小丽<sup>1</sup> 梁雅婉<sup>2</sup> 江维<sup>3</sup> 杨晓蒙<sup>1</sup> 赵彦丽<sup>1</sup>

1. 河南省生态环境监测和安全中心, 中国·河南 郑州 450000

2. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 中国·河南 郑州 450000

3. 河南省核技术应用中心, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

了解铱-192后装治疗室内部辐射剂量场水平; 分布特性及迷道设计对辐射剂量场所起的屏蔽作用, 为治疗室的辐射防护设计和人员安全评估提供科学依据。采用热释光剂量计 (TLD) 和辐射剂量监测仪, 在铱-192后装机出来和贮源状态下, 分别测量治疗室内不同位置, 不同高度及不同距离下的辐射剂量场水平及分布。本研究通过实测和理论相结合的方法, 获取精确的治疗室内部剂量场数值, 并探讨了迷道结构对降低治疗室入口处辐射剂量的重要意义, 为优化治疗室的设计和辐射防护措施, 保证医护人员和患者的辐射安全提供了关键依据。

## 关键词

后装治疗机; 铱-192; 累积剂量; 辐射剂量场、分布特征

## 1 引言

铱-192后装机属于近距离放射治疗设备, 是治疗恶性肿瘤的重要手段之一, 是将放射源通过人体的体腔和管道置于瘤体附近来杀死肿瘤组织细胞<sup>[1]</sup>。放射源在输送和治疗过程中是处于裸露状态的, 并在治疗室内形成 $4\pi$  方向的主束辐射场<sup>[2]</sup>, 因此了解治疗室内辐射剂量场的水平及分布对于治疗室的屏蔽设计及完善辐射安全与防护措施至关重要。本次开展铱-192后装治疗室内部剂量场的实验研究具有重要

的现实意义, 尤其了解迷道这一关键设计元素对剂量场的影响以及固定式报警仪等辐射安全防护措施的安装设计, 对保护医护人员、患者和周边环境具有不可忽视的作用。

## 2 材料与方法

### 2.1 辐射源及场所

实验装置一为医科达 (北京) 医疗器械有限公司生产的 FlexitronHDR 型铱-192 后装治疗机, 测量期间铱-192 源实时活度为 185GBq (5.139Ci); 实验装置二为山东新华医疗器械股份有限公司生产的 XHDR18 型铱-192 后装治疗机, 测量期间铱-192 源实时活度为 133.3GBq (3.702Ci)。

**【作者简介】**梁小丽 (1981-), 女, 本科, 高工, 注册核安全工程师, 从事核技术应用环评研究。

## 2.2 监测项目与方法

### 2.2.1 后装机出束状态下治疗室内不同距离、高度辐射剂量水平分布

两个后装治疗室内辐射剂量场水平均为模拟患者治疗时放射源从施源导管引出到模拟病灶状态下的结果，装置一源点距地面高度为 1.2 米，装置二源点距地面高度为 1.25 米。为精确测量剂量场分布，在治疗室内四周及迷路内外墙、源点至防护门口直线距离分别间隔固定距离并在垂直高度 1.0m、1.7m 和 2.0m 均匀布放热释光剂量计 (TLD) 进行轴向和垂直于轴向的辐射累积剂量测量。两个治疗室内共布放 102 组 TLD，每组 4 个。该 TLD 均经过筛选、刻度，性能稳定可靠，分散性在  $\pm 3\%$  之内，且经过比对考核合格。

### 2.2.2 后装机贮源状态下周围辐射场剂量水平分布

结合两台后装机所在的位置，分别以治疗机为轴线监测上部 1.2 米、中部 0.8 米和下部 0.3 米高度距表面 0m、0.3m、0.5m、1.0m、1.5m 处的周围剂量当量率<sup>[3]</sup>。测量仪器为 FH40G-L10+FHZ672E-10 型的环境  $\gamma$  剂量率仪，仪器经过检定合格并在有效期内。

## 3 结果

### 3.1 后装机出束状态下治疗室内部剂量场水平及分布

后装机治疗出束状态下，两个治疗室内部 TLD 布放点位图以及直线路径图的监测结果详见图 1 和图 2。

结果显示，FlexitronHDR 治疗室内不同点位累积照射剂量在 0.02~3.60mSv 之间，最大值在距离辐射源点最近迷道墙壁 1.7 米处，均值为 2.94mSv；路径上累积剂量在 0.03~38.00mSv 之间，最大值距离辐射源点 20cm 处 1m 高度位置。迷道内墙、外墙拐口处所获得的平均累积照射剂量分别为 2.61mSv 和 0.06mSv，防护门内平均累积照射剂量为 0.02mSv。XHDR18 治疗室内不同点位累积照射剂量在 0.01~1.77mSv 之间，最大值 1.77mSv 出现在后装机南侧正对墙面上 1m 高度；路径上累积照射剂量在 0.02~7.03mSv 之间，最大值出现在距离辐射源点 50cm 处 1m 高度。迷道内墙、外墙拐口处的平均累积照射剂量分别为 0.28mSv 和 0.05mSv，防护门内处的平均累积照射剂量为 0.01mSv。

### 3.2 后装机贮源状态下周围辐射剂量水平分布

后装机贮源状态下，分别巡测机头、机身、底座三个不同高度位置，在最大剂量测量点位置进行 0~1.5 米间隔 45 度周围剂量当量率测量。其测量结果见图 3 和图 4。

FlexitronHDR 治疗机贮源状态下周围剂量当量率介于 0.10~0.66  $\mu$  Sv/h 之间，最大值 0.66  $\mu$  Sv/h 出现在后装机中部前表面；XHDR18 治疗机贮源状态下周围剂量当量率介于 0.14~3.56  $\mu$  Sv/h 之间，最大值 3.56  $\mu$  Sv/h 出现在后装机中部前表面，这与后装机内铱 -192 源贮源位置相符。

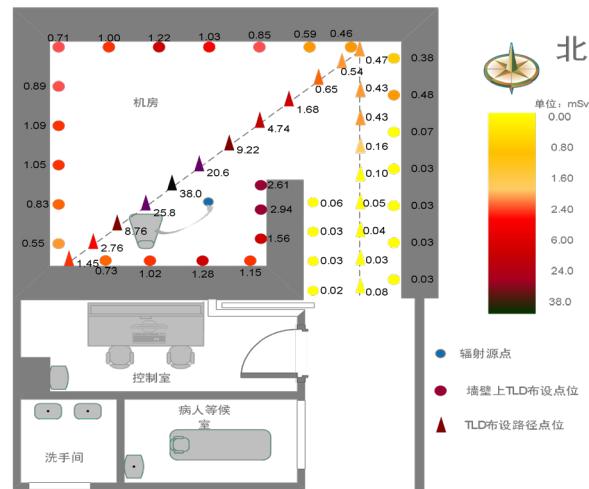


图 1 FlexitronHDR 型后装治疗室监测布放图

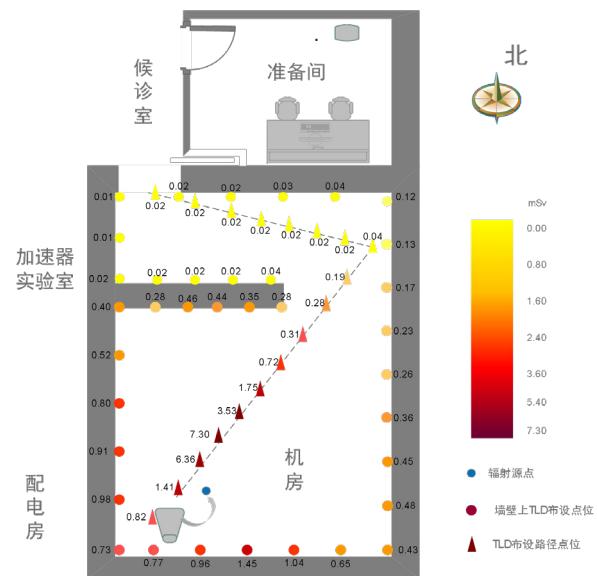


图 2 XHDR18 型后装治疗室监测布放图

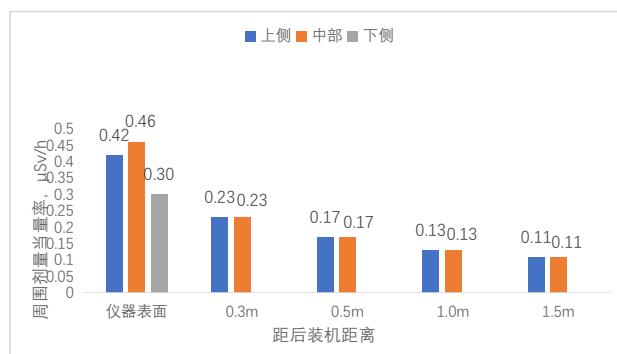


图 3 FlexitronHDR 后装机周围剂量当量率变化图

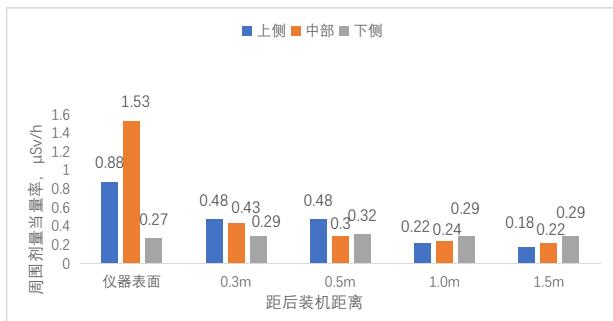


图 4 XHDR18 后装机周围剂量当量率变化图

## 4 讨论

我国 GBZ/T201.1-2007《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》<sup>[4]</sup> 和 GBZ/T201.3-2014《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》<sup>[5]</sup> 中对治疗机房的屏蔽、机房布局以及辐射源项和屏蔽考虑因素都进行了详细的要求。针对后装治疗按  $4\pi$  发射的点源考虑机房屏蔽，应在治疗机房的地面上标识出相应机房外可能受照剂量最高的使用位置，作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。由此源在治疗状态下治疗室的内部剂量场分布以及治疗室外的辐射剂量率大小因源所在的位置不同而不同。通过实测数据可以看出，两个治疗室内部的辐射剂量场呈现明显的同向性，在放射源的轴向方向上，剂量衰减相对不明显，而垂直于轴向的路径上，剂量随距离的增加呈现明显下降趋势。

在轴向上两个治疗室累积剂量场水平分布来看，在装置一运行时最大剂量点出现在最近墙体 1 米处以及同点垂直高度 1.7 米和 2.0 米的位置，分别为 2.28mSv、3.60mSv 和 2.94mSv，装置二运行时最大剂量点出现在最近墙体 1 米及同点垂直高度 1.7 米和 2.0 米位置，分别为 1.77mSv、1.36mSv 和 1.21mSv，其它点位累积剂量水平与此位置结果值变化趋势基本一致，这与源在出束状态下在治疗室内成  $4\pi$  发射的规律表现一致。在垂直于轴向的路径上，装置一从出源点到迷道拐点到防护门等距离所测累积照射剂量在 0.03~38.00mSv 之间。距离辐射源 0.7 米处累积剂量 20.6mSv 与位于同一直线上相距约 6 米位置的 0.47mSv 比较，其减弱倍数约 43 倍。其装置二表现的规律一致，其与辐射剂量随距离的平方成反比的减弱规律基本符合。

迷道作为后装治疗室辐射防护的重要组成部分，其设计的长度、宽度以及是否满足设备以及患者通过的相关要求在临床治疗实践中至关重要。迷道的 L 型设计结构不仅能够屏蔽主射线的照射，还有效进一步阻挡射线的泄露，同时还有助于增加射线在传播过程中的路径长度，使得射线在多次散射和吸收后，能量逐渐降低，从而达到防护门口的射线能量显著降低<sup>[6]</sup>。从图 1 数据可以看出在迷道拐口平均累积剂量为 0.63mSv，经过迷道后在机房防护门口的累积照射剂量降为

0.03mSv，分别为源出束点最大值的 1.6% 和 0.08%；在迷道内墙和迷道外墙布放中，两点在迷道内、外墙体同一位置处的衰减约 37 倍，其他点位对应的衰减倍数在 20-100 倍之间。其图 2 结果显示两个在迷道内、外墙体同一位置处的衰减倍数在 7-20 倍之间。通过迷道其辐射累积剂量呈数量级降低，说明足够长度和厚度的迷道设计对后装治疗室剂量水平的防护作用显著，它通过有效的屏蔽作用、散射效应、降低辐射泄露以及优化治疗室空间布局等方式，有效地降低了治疗室防护门口和治疗室防护墙体外的辐射剂量水平，保障人员安全和周围辐射环境。

在对两个铱 -192 后装治疗室实时测量时，在迷道的内人口处均安装有固定式辐射剂量监测仪。其实时值能直观表现出治疗室内的辐射剂量水平，有效保障辐射工作人员在工作过程中的安全；在治疗过程中，它可以持续测量辐射强度，及时发现剂量异常情况，有助于确保治疗效果，避免因剂量不足或过量导致治疗失败；当放射源发生泄漏或设备故障导致辐射剂量超出正常范围时，仪器能够迅速发出警报，确保辐射工作人员可通过辐射剂量监测仪了解治疗室内的辐射剂量水平，及时采取防护措施。

## 5 结语

铱 -192 后装治疗室内辐射剂量场的水平和分布具有明显的规律性，与放射源的位置和活度密切相关。后装机在出束状态下，内部剂量场在轴向上辐射剂量变化不明显，与射线在治疗室内呈  $4\pi$  分布的变化规律基本一致；在垂直于轴向的路径上辐射剂量呈现与距离的平方成反比相一致的变化规律。迷道的设计通过多种方式有效地降低了迷道通道内以及治疗室防护门口和治疗室防护墙体外的辐射剂量水平，保障人员安全和周围辐射环境。

## 参考文献

- [1] 鲁玮瑗, 李智华, 黄菊英等. 近距离后装治疗机及其在鼻咽癌治疗中的应用[J]. 医疗设备信息, 2006, (11): 50-51;
- [2] 马永忠, 娄云, 冯泽臣等. 关于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 技术指标解析[J]. 首都公共卫生, 2017, 11 (5) : 228-234;
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范: HJ1157-2021[S]. 北京: 中国环境出版社, 2021;
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则: GBZ/T201.1- 2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007;
- [5] 国家卫生计生委. 放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分:  $\gamma$  射线源放射治疗机房: GBZ/T 201.3-2014[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2014:1-21;
- [6] 李凤霜, 张朝, 李夏, 等. 后装  $\gamma$  源近距离治疗室内辐射场剂量水平及分布[J]. 职业与健康, 2018, 34(15): 2113-2117;

# Technology Empowerment and Ecological Reconstruction: Research on Practical Paths, Challenges and Optimization Strategies for Smart Campus Construction

Xurong Feng

Jiangxi Taihao Animation Vocational College, Nanchang, Jiangxi, 330200, China

## Abstract

Smart campus is the core carrier of the digital transformation of education. Relying on new-generation information technologies such as big data, artificial intelligence, and the Internet of Things, it promotes the upgrade of campus from “digital infrastructure” to “intelligent ecosystem”. Based on the strategic background of Education Informatization 2.0, this article defines the connotation and core elements of smart campus, sorts out the current situation, typical models and practical achievements of smart campus construction in China, and analyzes the key problems and their causes such as insufficient technological integration and obvious data barriers existing in the construction process. Optimization strategies are proposed from five dimensions: technology integration, data governance, service optimization, security guarantee, and mechanism innovation, providing theoretical references and practical lessons for the high-quality construction of smart campuses.

## Keywords

Smart campus; Technological empowerment; Digitalization of education; Data governance; optimization strategy

# 技术赋能与生态重构：智慧校园建设的实践路径、挑战与优化策略研究

封绪荣

江西泰豪动漫职业学院，中国·江西南昌 330200

## 摘要

智慧校园是教育数字化转型的核心载体，依托大数据、人工智能、物联网等新一代信息技术，推动校园从“数字基建”向“智能生态”升级。本文基于教育信息化 2.0 战略背景，界定智慧校园的内涵与核心要素，梳理我国智慧校园建设的现状、典型模式与实践成效，剖析建设过程中存在的技术融合不深、数据壁垒明显等关键问题及成因，从技术融合、数据治理、服务优化、安全保障、机制创新五个维度提出优化策略，为智慧校园高质量建设提供理论参考与实践借鉴。

## 关键词

智慧校园；技术赋能；教育数字化；数据治理；优化策略

## 1 引言

智慧校园作为教育数字化转型的关键抓手，使新一代信息技术与教育场景实现了深度融合，打破了传统校园的时空限制，推动了教学、管理、服务模式全面革新。传统校

园管理中存在的资源分配不均、服务效率偏低、决策缺乏数据支撑等问题，亟需通过智慧化建设实现转型突破。目前，5G、人工智能、大数据等技术的成熟应用，为智慧校园从“数字化”向“智能化”升级提供了坚实的技术支撑，智慧校园建设已成为教育领域的发展共识。

本文通过界定智慧校园的核心内涵与技术架构，梳理其建设逻辑与实践规律，丰富教育信息化理论体系，明确技术赋能教育的核心边界，为后续相关研究提供理论参照。同时，聚焦智慧校园建设中的系统性问题，构建“技术—数据—服务—安全—机制”五位一体的优化框架，填补当前研究中“重技术轻生态”的空白。同时，依据我国智慧校园建设呈现区域不平衡、应用不深入等问题，本文分析了模式与实践成效，剖析现存问题及成因，提出针对性优化策

【基金项目】江西省高等教育学会 2023 年度学会课题:《“新商科”背景下高职教育专业育人培养模式、课程体系及重点课题研究》(项目编号: ZX5-B-007)。

【作者简介】封绪荣 (1980-)，男，中国江西上饶人，硕士，副教授，从事计算机科学与技术、电子商务应用技术研究。

略, 可为智慧校园建设提供落地指南, 助力提升教育质量与校园管理效能。

同时, 本文梳理了我国智慧校园建设的现状, 明确建设过程中的核心问题及成因, 提出兼具针对性与可操作性的优化策略, 为推动智慧校园从“技术堆砌”向“生态重构”转型提供支撑。通过“内涵——现状——问题——对策”的逻辑分析框架, 聚焦了智慧校园建设的核心矛盾, 突出了数据治理与安全伦理, 并基于实践需求提出优化策略。

## 2 智慧校园内涵与我国建设的现状

### 2.1 智慧校园的内涵和核心要素

智慧校园是数字校园的高级形态, 指依托新一代信息技术, 整合校园物理空间与数字空间, 实现教学、管理、服务等全场景的智能化升级, 其核心特征表现为感知全面化、数据一体化、服务个性化、管理精细化。与数字校园相比, 智慧校园更强调“技术赋能教育本质”, 而非单纯的技术应用, 其核心要素包括: 技术底座(物联网、云计算、人工智能等)、数据资源(校园全场景数据的整合与利用)、应用服务(满足师生教学、管理、生活需求的各类场景应用)、用户主体(师生及校园管理者)和制度保障(支撑智慧校园规范运行的政策与机制)。

### 2.2 智慧校园的技术架构及其建设现状

建设智慧校园, 首先要清楚其技术架构建设, 一般有四个层次: 基础设施层, 涵盖物联网感知设备、5G 网络、云计算平台等, 为智慧校园提供硬件支撑; 数据资源层, 包括数据采集、存储、处理及数据中台建设, 实现校园数据的统一管理; 应用服务层, 聚焦智慧教学、智慧管理、智慧生活、智慧安防等核心场景, 提供多元化应用; 用户访问层, 通过移动终端、一站式服务门户等, 为师生提供便捷访问渠道。四层结构形成“底层支撑——数据流转——应用落地——用户触达”的闭环协同关系, 共同构成智慧校园的运行基石。其协同逻辑是: 基础设施层提供“硬件保障”, 数据资源层实现“数据增值”, 应用服务层完成“功能落地”, 用户访问层保障“体验优化”, 层层递进、双向联动, 共同支撑智慧校园的智能化运行。

目前我国建设智慧校园四个架构, 已经完成很多创新。例如基础设施层建设成效显著, 高校层面已形成规模化部署。河北工业大学建成“万兆到楼宇、千兆到桌面、无线全覆盖”的校园网, 部署无线 AP 超 20000 套, 算力达 2PFLOPS 的高性能计算中心为科研教学提供支撑; 山东女子学院通过升级 mGE 有线架构与 Wi-Fi7 技术, 实现“千兆入桌面、多千兆入 AP”, 解决了高清教学、多终端并发的带宽瓶颈。在数据资源层, 头部高校已初步建成数据中台, 河北工业大学统筹 15 个部门, 梳理 33 个业务系统, 形成 561 张标准数据表, 通过 315 个 API 接口为全校业务系统提供数据服务, 累计调用量超 1777 万次。在应用服务层, 场

景覆盖广泛。智慧教学领域, 高校普遍建成虚拟仿真实验中心、智慧教室, 实现课程全录像、设备全保障, 还有全景沉浸式教学空间, 智慧安防的网络架构, 支撑高清视频监控、智能预警等应用, 提升校园安防能力。在用户访问层, 便捷化程度提升, “一站式服务门户”已成为高校标配, 师生可通过 PC 端、移动 APP 办理教务、财务、后勤等业务。

### 2.3 我国智慧校园的建设现状

当前我国智慧校园建设形成了三种典型模式: 一是政府主导型, 由政府出台政策规划, 统一投入资金, 推动区域内校园智慧化建设, 如浙江“智慧教育示范区”建设, 特点是规划统一、资源集中, 但灵活性不足; 二是校企合作型, 学校与科技企业合作, 由企业提供技术支持与解决方案, 如部分高校与华为、腾讯等企业合作建设智慧校园, 优势在于技术成熟、落地效率高, 但需平衡校企利益与校园需求; 三是自主研发型, 主要集中于科研实力较强的高校, 由校内团队自主研发适配性应用, 特点是贴合本校需求, 但研发成本高、推广难度大。

经过多年建设, 我国智慧校园在多方面取得显著成效: 教学层面, 线上线下混合教学、虚拟仿真实验等模式广泛应用, 打破了传统教学的时空限制, 提升了教学互动性与个性化; 管理层面, 校园流程数字化率显著提高, 招生、教务、后勤等管理工作效率提升, 决策逐渐向数据驱动转型; 服务层面, 一站式服务门户、移动校园 APP 等普及, 师生办事流程简化, 校园生活便捷度提升; 安防层面, 视频监控、智能预警等系统应用, 增强了校园安全保障能力。

## 3 智慧校园建设面临的主要问题与成因分析

### 3.1 主要问题

我国围绕智慧校园的定义、技术架构、建设路径等展开, 智慧校园建设取得了一定成果, 但仍存在重技术架构设计, 轻实际应用效果评估, 对数据治理、安全伦理等关键问题关注不足, 缺乏基于师生真实需求的系统性优化布局等问题。起步较早的国外智慧校园建设, 例如美国“智慧校园计划”聚焦技术与教学的深度融合, 新加坡“智慧国”教育布局强调数字化素养培育, 欧洲注重区域协同的校园数字化转型, 其建设多集中于技术应用场景与实践模式的创新。相对比较, 我国智慧校园建设的具体问题主要是:

技术融合不深。部分智慧校园建设陷入“技术堆砌”误区, 技术应用与教育教学场景脱节, 如智慧课堂设备仅用于播放课件, 未能实现个性化教学支持; 不同系统间兼容性不足, 形成“信息孤岛”, 影响使用体验。

数据治理薄弱。目前校园和有关社会组织部门, 数据壁垒现象突出, 各部门数据标准不统一, 难以实现数据共享; 数据价值挖掘不足, 大量校园数据仅用于存储, 未能为教学优化、管理决策提供有效支撑; 数据安全存在隐患, 个人隐私泄露风险较高。

服务精准度不足。部分智慧校园建设忽视师生真实需求，应用功能设计与实际需求脱节，导致使用率偏低；服务缺乏个性化，未能根据不同师生群体的特点提供定制化服务；操作流程复杂，增加了师生的使用成本。

安全与伦理风险。网络安全防护体系不完善，易遭受恶意攻击与数据泄露；人工智能等技术应用存在伦理隐患，如算法推荐导致的“信息茧房”、隐私数据滥用等问题；师生信息素养不足，难以适应智慧校园的使用需求。

长效机制缺失。缺乏持续资金投入机制，部分建设后期运维资金不足；专业技术人才匮乏，难以支撑智慧校园的持续优化；师生参与度低，建设过程中缺乏有效的需求反馈渠道。

### 3.2 存在问题的成因分析

上述问题的存在，主要由以下原因导致。一是理念认知偏差。部分建设者对智慧校园的核心内涵理解不足，将其等同于“技术升级”，忽视了教育本质与师生需求；过度追求技术先进性，而忽视了应用的实用性与适配性。二是规划设计缺陷。缺乏系统性、前瞻性规划，建设过程中各部门分散推进，导致重复建设与资源浪费；未能建立统一的数据标准与技术规范，为后续数据共享与系统兼容埋下隐患。三是资源保障不足。资金投入结构不合理，重建设轻运维，导致部分系统建成后难以持续发挥作用；专业技术人才培养滞后，现有人员难以应对智慧校园建设中的技术难题与运维需求。四是协同机制不畅。学校、企业、政府等多方主体协同不足，缺乏有效的沟通协调机制；师生作为核心用户，未能充分参与建设过程，导致需求表达不畅。

## 4 智慧校园建设的优化策略

那么，依据问题成因，应提出哪些有针对性的智慧校园建设建议呢？

### 4.1 技术融合优化：推动“技术——教育”深度耦合

首先要聚焦教育教学核心场景，开发适配性应用，如基于人工智能的个性化学习路径推荐、虚拟仿真实验平台等，实现技术与教学的深度融合；其次要建立统一的技术标准与接口规范，推动各系统互联互通，打破“信息孤岛”；再次是试点应用新兴技术，如 AI 助教、数字孪生校园等，探索智慧校园建设的新路径。同时，强化技术培训，提升师生的技术应用能力，确保技术真正服务于教育教学。

### 4.2 数据治理升级：构建“安全——共享——增值”的数据生态

首先要建立统一的数据标准体系，规范数据采集、存储、传输等环节，打破部门数据壁垒；搭建校园数据中台，实现数据的集中管理与统一调度，挖掘数据在教学优化、管理决策中的价值；其次要强化数据安全防护，采用加密技术、访问控制、安全审计等手段，防范数据泄露与恶意攻击；第三要完善数据隐私保护制度，明确数据使用边界，保障师生合法权益。

### 4.3 服务体系重构：打造“以师生为中心”的精准服务

首先要开展师生需求调研，明确服务优先级，避免“为智慧而智慧”的无效建设；其次要推进“一站式”服务门户优化，简化办事流程，实现“一网通办”；再次是基于用户画像与数据分析，提供个性化服务推荐，如学生学业规划指导、教师科研资源推送等；最后是优化服务界面设计，提升操作便捷性，降低使用门槛。

### 4.4 安全保障强化：筑牢技术与伦理双重防线

首先要完善网络安全管理制度，明确安全责任主体，建立常态化安全监测与应急响应机制；加强技术安全防护，部署防火墙、入侵检测系统等设备，提升网络安全防护能力；其次要制定智慧校园技术应用伦理规范，防范算法歧视、隐私滥用等伦理风险；再次是开展信息素养与安全意识教育，提升师生的风险防范能力。

### 4.5 机制创新保障：构建长效运营生态

首先要建立“政府引导、学校主导、企业参与、师生共建”的多元协同机制，明确各方权责；其次要完善资金保障机制，优化资金投入结构，确保建设与运维资金持续投入；再次要加强专业人才队伍建设，通过引进与培养相结合，打造兼具教育理念与技术能力的复合型人才；最后要建立师生参与机制，设立需求反馈渠道，形成“建设——使用——反馈——优化”的闭环。

## 5 结语

随着人工智能、元宇宙、数字孪生等技术的持续发展，智慧校园建设将向更深层次、更广范围推进。未来，智慧校园将实现从“技术驱动”向“生态驱动”转型，形成更加开放、协同、智能的教育生态系统；教学模式将更加个性化、多元化，人工智能将深度融入教学全流程，实现“因材施教”的教育理想；管理模式将更加精细化、数据化，决策效率与科学性显著提升；服务模式将更加精准化、便捷化，师生获得感持续增强。同时，智慧校园建设将会更加注重技术伦理与安全保障，平衡技术创新与教育本质，推动教育数字化转型向高质量发展迈进。

### 参考文献

- [1] 教育部。教育信息化 2.0 行动计划 [Z]. 2018.
- [2] 黄荣怀, 张进宝, 胡永斌, 等。智慧校园：数字校园发展的必然趋势 [J]. 开放教育研究, 2012, 18 (4): 12-17.
- [3] 王运武, 杨曼。国内外智慧校园建设现状与趋势 [J]. 电化教育研究, 2020, 41 (3): 38-45.
- [4] 陈丽, 林世员, 郑勤华。教育数字化转型的核心要素与实践路径 [J]. 教育研究, 2021, 42 (11): 28-38.
- [5] 李逢庆, 赵磊。智慧校园建设的实践反思与优化路径——基于“技术-教育”融合的视角 [J]. 高等教育研究, 2020, 41 (7): 55-61.
- [6] 祝智庭, 胡姣。智慧校园的四大智慧及其内涵 [J]. 中国电化教育, 2018 (8): 1-7.

# Application of Mechanical Design and Manufacturing Technology in Outdoor Lighting Manufacture

Fengwang Chen Wenjuan Yang

Zhejiang Jialide Sports Technology Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

## Abstract

With the advancement of urban development, the demand for outdoor lighting fixtures has been increasing. In their application, these fixtures require high performance and longevity. The integration of mechanical design and manufacturing technologies in the design and production process can significantly enhance the safety, lifespan, brightness, and aesthetic appeal of the fixtures. This paper analyzes the application of mechanical design and manufacturing technologies in the design and production of outdoor lighting fixtures. It first elucidates the key factors influencing the quality of outdoor lighting fixtures through mechanical design and manufacturing technologies. Based on this, the paper discusses methods and techniques for applying these technologies during the design phase and production process, while proposing optimization strategies. By summarizing existing mechanical design and manufacturing technologies, the author aims to provide valuable insights for the future development and innovation of outdoor lighting fixtures.

## Keywords

mechanical design; manufacturing technology; outdoor lighting; quality improvement

# 机械设计制造技术在户外灯具制造中的应用

陈丰旺 杨文娟

浙江嘉立德运动科技有限公司, 中国·浙江金华 321000

## 摘要

随着城市建设的发展, 对室外灯具需求越来越多, 在室外灯具的应用中, 其性能及寿命具有较高的要求, 并在灯具的设计制作环节应用机械设备设计制造技术, 能够显著提升灯具安全性、寿命、亮度及美观度。本文就机械设备设计制造技术在室外灯具设计制作过程中的应用进行分析探究。本文先阐述了机械设备设计制造技术对于提高户外灯具质量的影响因素有哪些, 在此基础上讨论了机械设备设计制造技术应用于设计阶段以及制作过程中的一些方法和技术, 并提出一些优化对策。笔者通过对现有机械设备设计制造技术进行总结归纳, 为今后户外灯具的发展和创新提供一定的借鉴意义。

## 关键词

机械设计; 制造技术; 户外灯具; 质量提升

## 1 引言

户外灯作为现代城市建设中必不可少的一部分, 在街道路灯、景观灯、路灯、广告牌灯箱及建筑物外墙装饰等领域有着非常广泛的用途。随着时代的发展和社会的进步, 户外灯具不仅仅是为人们提供照明作用, 其还有着美化环境、保护安全等多种功能需求, 所以如何提高户外灯具的质量和功能性成为了灯具设计制作的关键所在。

## 2 机械设计制造技术对户外灯具质量提升的作用

### 2.1 提高安全性

室外灯照明灯具工作环境较为恶劣, 暴雨、大风、严寒等气候给灯具带来的稳定性及功能性的考验较大, 而机械设计制造工艺能精准地进行设计, 使得灯具在经受外力冲击后依然具有较高的承载能力及延展性。如科学地选用灯具外壳材质, 使用高强度的铝合金或者不锈钢材料, 这种材料可以抵御风沙、雨水的影响, 并且在结构上加入防震设计, 这样就可以避免因为地震或是大风吹造成的损伤。对于灯具的电气部分, 机械设计技术还能够确保密封性和绝缘性, 避免潮湿环境下产生电路短路或触电等安全隐患<sup>[1]</sup>。

### 2.2 延长使用寿命

户外灯具有着阳光、雨水、风沙等影响因素, 在长时

**【作者简介】**陈丰旺 (1982-), 男, 中国浙江人, 本科, 工程师/高级经济师, 从事机电制造方面的研究。

间的应用中会使灯具产生老化、褪色、腐蚀等情况，直接降低了灯具的功能及寿命。利用机械设计制造技术可以对灯具的材质进行加工处理，提高灯具的使用寿命，如运用抗紫外线、抗腐蚀的优质材质制作灯具，选用铝合金外壳及耐候性较强的塑料作为材质。能有效地避免太阳辐射及雨露浸蚀造成灯饰损伤。另一方面可通过涂装处理，如喷漆、电镀、阳极化处理等手段提高灯饰外壳的抗大气中水汽和盐雾腐蚀能力。精密的制造工艺保障了灯具的结构稳定性和组件的高精度，避免了因配件松动或损坏造成的故障。

### 2.3 提升光效和美观性

户外灯具的光效以及美观程度都是对其的重要评价指标，在机械设计制造技术下进行光学及结构方面的优化能够提升灯具的光效。通过对灯具进行光学设计可以实现对灯具的反射面以及透光材料的优化，提高光源的利用率以及照明的效果。如利用反射镜的形状以及材质等方面。降低了光的散射，集中了光源，增大了光照度；其次就是对灯具外形的美观性考虑，现代化的机械设计技术可以将灯具的功能性和美观性结合在一起。结合现代艺术设计理念，灯具的造型、材质和色彩得到了创新和提升，能够与城市景观完美融合，提升公共环境的整体视觉效果。

### 2.4 提升生产效率与一致性

机械设计和制造技术对户外灯具制造的意义还在于提升产品的统一性以及生产效率，在实际的灯具产品生产过程中可以通过自动化的生产线以及精加工的方式实现整个生产流程的有效管理与控制。利用自动化设备来开展一些具有较高重复率并且精确度较高的任务，降低人工因素影响，保证单灯一致性。如激光切割、数控加工等能保证灯具各零件的尺寸及几何形位公差满足设计要求，克服了手工制作可能存在的不精确性。其次，机械自动化生产可极大提高生产效率。采用手工劳动进行加工制作时，加工的速度受制于操作者熟练程度以及工作量的影响，自动化流水线可实现连续不间断作业，在很大程度上增加了产品的产出数量及生产率，并且可通过自动化装置对加工工序每个步骤精准把控，这样就减少了废品的发生，减少返修和浪费，提高了生产综合效率。

## 3 机械设计制造技术在户外灯具设计中的应用

### 3.1 结构设计与优化

户外灯具的结构设计是确保灯具使用过程中安全可靠的重要因素。随着机械设计和制造技术的发展，特别是 CAD 和 FEA 技术的运用，在进行结构设计之前就可以预知灯具受到的各种外力影响情况，设计师可以根据计算结果预测灯具受各种外界条件的影响后可能出现的各种形变状况。保证灯体能经受住大风、降雪等恶劣气候的影响。利用有限元分析，设计师可以在电脑上模拟灯具各结构部位的受力情况，对支架、接点以及灯具外壳进行改进设计，以求灯具具

备更好的抗风抗震能力，在多种环境下能牢固地被固定，并经久耐用，避免由于受到外力影响而造成灯具变形。此外，在进行结构优化的同时还需要考虑所用材料的选择以及加工工艺之间的匹配关系。CAD 技术的应用使得设计师可以在满足灯具强度以及受冲击程度的前提下合理地进行用料设计，在保证灯具质量的同时减轻其重量，并避免材料浪费，从而实现灯具使用的经济化及轻量化效果。比如在灯具中应用高强度的铝合金或者不锈钢等材质来制作灯具，既能保障灯具的质量也能节约成本投入。设计者通过对结构的优化，提升了灯具功能的同时也提升了生产效率，降低了在生产过程中物料的消耗，为企业的节约了成本和资源<sup>[2]</sup>。

### 3.2 智能化设计

智能设计是目前机械设计制造技术中的一个巨大创新，在室外灯具设计的应用也越来越多了。随着 IoT 技术以及 AI 的快速发展，智能设计的灯具已经不仅仅只是用来照明那么简单，还可以实现更多的交互功能以及节能环保等功能。可以由设计师设置灯具进行自动调节。例如根据环境光线变化，自动调节灯具亮度，达到合适照度的同时不造成不必要的资源浪费。另外，灯具还可以通过智能控制系统与其他的城市照明设备进行连接，在远端控制城市的照明系统，对其进行智能调节，提高城市照明系统的能源利用率。传感器应用是智能化设计中的重要手段，在智能化设计中，利用传感器对周围环境信息进行实时检测，包括温度、湿度、照度等参数，并把这些参数传递给灯具控制器，然后根据场景自动控制照度大小或者开关灯。这种智能化的调光既提高了灯具的能效又可以延长灯具寿命。例如，当夜幕降临时，灯具自动开启，并根据周围环境的光线条件调整亮度，避免在不必要的情况下浪费能源。

### 3.3 风格与美学设计

当今城市的户外照明灯具除了实用功能外，还应具有一定的美观性，是城市夜景中的一道风景线。机械设计制造对户外灯具外形的设计起到了极大的推动作用，借助三维软件建模、快速成型技术和新型材料的研发应用，可以设计出更多造型优美、独特的灯具作品，让它们不只是灯，也是城市的美学和文化的载体。

三维模型可以将灯饰在电脑上以立体的形式展现出来并随时调整其位置、角度等等，实现设计者的设计理念与实际需求之间的融合统一。设计人员根据不同的需求打造各类样式的灯饰：简洁时尚型、古典雅致型、未来科技型……让每一处灯饰都能与其所处空间的装饰风格和气氛融为一体。从美学的角度来说，在进行设计的过程中可以应用更多的方法来进行设计制作。比如设计者利用新材料，如不锈钢材料、铝合金材料、玻璃材料及新的复合材料等，不仅满足灯具的耐久度，而且让灯具造型更加精巧和高档。借助数字制造技术可以把复杂的要素准确转化到实物上，把细节做到极致化，装饰表现更加鲜活。

## 4 机械制造技术在户外灯具生产中的应用

### 4.1 材料选择与加工技术

室外灯具的制作材料对灯具的质量、使用寿命及使用环境有着重要的影响作用。机械加工是利用先进材料制成的，在设计中可以选用适合室外使用的材料来抵抗风雨、阳光等因素的影响。常用的户外灯具材质有耐腐铝型材、不锈钢、耐候塑胶等，材质的机械强度较高，耐久性能好，并且不易被腐蚀。铝合金及不锈钢材质抗氧化能力强，能有效防止灯体外壳长期使用后被腐蚀，耐候塑料具有较强的抗紫外线功能，在强光照射情况下不易发生老化、褪色现象<sup>[3]</sup>。在选用材料上既要考虑功能性又要兼顾美观性及经济性；利用机械制造工艺根据所处的环境条件不同（例如：海边、山区或者城市公路）来选择恰当的材料以保证灯具能在相应的环境中长久安全地使用；同时运用当代先进的数控加工、激光切割、铣削等方法对灯具中的各个零部件进行精准加工使其达到标准。数控机床采用计算机程序进行控制，在进行加工的过程中更为精确，能够有效地减少材料的浪费以及生产的误差，提高生产的效率，并降低生产的成本。精确的加工工艺使得产品质量更加统一，也为后期产品的装配及调试工作奠定了良好的基础，从而保证每套灯具都能满足设计效果以及使用需求。

### 4.2 精密加工与表面处理

户外灯具的精密化生产：很多户外灯具对外观如灯具外壳、支架、接头等都有较高的加工精度要求；而通过现代化机械加工技术和精密测量仪器可以满足各类零件的精确度需求。数控技术不仅能进行复杂造型及细部处理，并且能够大大提升加工效率，降低人为操作失误率。精确的加工保证了灯体各部件严丝合缝，在安装的时候不会有松散或者不稳定的状况发生。此外，精密加工技术还帮助减少了原材料的浪费，通过更高效的使用材料来降低生产成本。除了涂层之外，在户外灯产品中，其他形式的表面处理技术也是必不可少的一个环节。户外环境具有潮湿性、含盐量高、日光暴晒等特点，会导致灯具外罩及零件表面被腐蚀破坏而影响其外观或者使用功能，所以表面处理是提高产品外观质量的重要环节，同时对产品的寿命也有很大帮助。喷涂、阳极氧化、电镀可以有效增加灯具的抗腐蚀、抗氧化能力，提高耐候性。比如，阳极氧化可以为铝合金材料表层制造出致密性的氧化膜，使其具有更强的耐磨性和耐腐蚀性，并能为其赋予丰富的色彩，来美化灯具的造型；电镀工艺则是将金属或合

金涂覆在金属表面，提高金属的耐腐蚀性并改善表面的光泽度。以上表面处理方式既提升了灯饰的美观性和防磕碰性，也保证了灯饰在严酷的室外环境下可以长时间应用。

### 4.3 自动化生产与装配

随着智能制造及自动化技术的飞速发展，更多的户外灯具生产企业采用自动线进行生产，提高劳动生产率、降低生产成本、稳定产品质量。自动线的应用改变了传统生产工艺方法，实现了灯具生产的高效化和精准化，在加工、装配过程中可以减少人为因素的影响，从而减少人为因素导致的质量影响。由于是高度集成化的生产线，整个生产流程中从原料进厂到成品出厂都能无缝衔接，减少了生产中的停顿、等待时间，大大提升了生产效率。在装配过程中，自动化技术的应用也具有很大的作用<sup>[4]</sup>。自动化的装配装置能够对灯具的各种零部件进行准确地安装，降低了人工操作过程中的失误情况，保障了产品装配的质量水平。比如，自动化装配流水线可以根据标准工序对灯具的各个零部件（包括灯头、电源板、灯罩等）进行精准化装配。并且会用到自动检测仪器来对各个环节的质量进行检验，保证每一盏灯都达到质量的要求。而且由于实现了自动化，可以实现灯具生产的灵活性，可以根据市场的需求来进行相应的变动和完善，提升了生产线的变化性以及适应能力。

## 5 结语

在户外灯具的生产过程中利用机械设计制造技术，在提高灯具质量的基础上也使得灯具朝着智能化、精细化以及美观化的方向发展。相信在未来的时间里，科学技术的进步将会使得机械设计制造技术在户外灯具设计、生产以及应用等方面发挥出更大的作用。要想进一步提高户外灯具的整体性能，行业应加大对新材料、新工艺及智能化研究与运用力度，实现户外灯具制造的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 余硕智.工业设计及机械设计制造技术的应用研究[J].中国新技术新产品, 2017(14):71—72.
- [2] 曾耀东.关于工业设计及机械设计制造技术的应用研究[J].山东工业技术, 2019(19):1—2.
- [3] 张梦帆.化学工业设计及机械设计制造技术的应用研究[J].化工设计通讯, 2017(6):255—256.
- [4] 胡喆.浅谈工业设计及机械设计制造技术在户外灯具制造中的应用[J].中国设备工程, 2020(12):170-171.

# Analysis on the Construction Schedule Management of Electric Power Engineering Based on Risk Prevention and Control

Xinfeng Ding

State Grid Shandong Electric Power Company Dingtao District Power Supply Company, Heze, Shandong, 274000, China

## Abstract

Construction schedule management based on risk pre-control has become the core paradigm for enhancing the performance capability of power engineering projects. Throughout the overall construction cycle of power engineering projects, specific practices such as proactive identification of schedule risks, establishment of institutionalized pre-control systems, and optimization of on-site construction schedule feedback mechanisms can effectively reduce delay risks and strengthen construction execution. China's power engineering projects are mostly long-term, multi-disciplinary, and high-tech integrated projects, whose construction schedule management is subject to complex risk factors such as policy adjustments, supply chain impacts, and variations in construction environments. Under these circumstances, schedule management based on risk pre-control helps to rationally allocate resources, dynamically adjust plans, and form a sustainable execution loop. Based on this, the following discussion will explore construction schedule management for power engineering projects based on risk pre-control through reviewing relevant literature and combining practical experience, for reference.

## Keywords

risk pre-control; power engineering; construction schedule management; significance; measures

# 基于风险预控的电力工程施工进度管理探析

丁欣峰

国网山东省电力公司菏泽市定陶区供电公司，中国·山东 菏泽 274000

## 摘要

基于风险预控的施工进度管理已成为电力工程项目提升履约能力的核心范式，在电力工程整体建设周期中，通过前瞻性识别进度风险、构建制度化预控体系、优化现场施工进度反馈机制等具体实践，可有效降低延期风险并增强施工执行力。中国电力工程项目多属长期性、多专业交织及高技术集成型项目，其施工进度管理受到政策调整、供应链影响、施工环境变异等复杂风险因素干扰。在此背景下，基于风险预控的进度管理有助于合理配置资源、动态调整计划并形成可持续执行闭环。基于此，下文将通过查阅相关文献资料以及结合自身实践情况下，围绕基于风险预控的电力工程施工进度管理展开探讨，以供参考。

## 关键词

风险预控；电力工程；施工进度管理；意义；措施

## 1 引言

结合实践来看，电力工程建设不仅仅关系着国家经济与社会的发展，更与人们的日常生活息息相关。但是，在实际施工过程中，电力工程建设可能会在自然因素、人为因素以及工程设计因素等的影响下面临多种施工进度风险问题，造成施工工期延长的同时还会造成大量的施工成本浪费，降低工程建设的经济效益<sup>[1]</sup>。有鉴于此，下文从风险预控含义、施工管理意义、具体落地措施三个层面展开分析，并提出具

备实践指导性的工程实施策略，最后对未来电力工程进度风险预控体系建设方向进行概括性总结。

## 2 风险预控概述

风险预控在中国电力工程管理语境下是指在施工及运行全过程中，以风险识别、定量评估和分级控制为基础，建立系统化、规范化、动态化的风险前瞻机制，重点识别可能对关键节点进度、资源配置、施工安全及电网稳定运行产生不利影响的因素，通过预判、预警和预控措施将潜在风险控制在可接受范围之内，从而保障施工计划及供电可靠性。风险预控强调从项目立项、设计优化、施工组织、资源协同、设备调试到联络调度各环节集成风险管理，不仅要求定期开

【作者简介】丁欣峰（1982-），男，中国山东菏泽人，本科，从事工业工程生产计划方向研究。

展隐患排查与安全勘察,还要将风险等级分级分类管理,建立触发阈值与应对方案,同时结合迎峰度夏、迎峰度冬等关键时间段制定专项风险分析与控制措施,确保风险管控方案具有可操作性与可追溯性。依据国家能源局相关电网安全风险管理办法要求,各级电力企业需明确主体责任、落实管控措施、强化监视预警机制,并形成动态风险闭环管理与持续改进机制,以提升电力工程施工进度管理质量和电网安全稳定运行能力。

### 3 基于风险预控的电力工程施工进度管理意义

基于风险预控的电力工程施工进度管理将进度计划从被动跟踪转为主动控制,通过系统化识别、分级评估与预设响应措施,实现对工期扰动的前置化管理。它要求把安全、物资、设备、设计变更、施工交叉作业与政府审批等关键风险要素嵌入进度节点,建立动态风险—进度联动机制与滚动调整流程,从而提升工期可控性与资源配置效率;借助风险评分表、进度偏差预警、BIM 与进度管理平台实现风险闭环处置与责任追溯,显著降低延期概率与经济损失。在合约与供应链层面,风险预控有利于明确履约责任、优化供应计划与施工作业顺序,保障关键物资与专业分包按节点交付,最终确保工程按期投产,维护电网可靠性与社会供电安全<sup>[2]</sup>。此举还推动建立周/月度风险复核与现场验证机制、关键节点缓冲设置与应急物资预置,强化监理与施工单位的联动监督,使进度决策基于证据并可追溯;并为考核体系提供量化风险指标,促进管理层提前介入与资源倾斜,减少返工与施工浪费,提升工程交付质量与时间一致性。

### 4 基于风险预控的电力工程施工进度管理措施

#### 4.1 完善风险识别与进度目标联动机制

在国网电力工程实践中,完善风险识别与进度目标联动机制需围绕施工全周期展开系统化设计,第一,在施工组织设计编制阶段,将风险识别前置为进度目标论证的必要程序,通过建设、设计、物资、施工及监理等多专业联合会商,对里程碑节点逐项开展可实施性审查,重点分析设计深度不足、前期手续衔接、跨区协调等对工期形成实质制约的风险因素,并在进度目标中同步修正工序逻辑关系与时序假设,使目标本身具备风险约束属性。第二,在进度计划分解过程中,依据风险等级对关键路径进行差异化处理,对受外部条件影响显著的工序设置可压缩与不可压缩区段,合理配置工期机动量,并通过细化作业面划分和资源投入节奏,降低单一高风险节点对整体计划的传导效应,实现风险识别结果向进度管理参数的直接转化。第三,在施工实施阶段,建立进度偏差与风险触发联动规则,将计划完成率、关键工序兑现率与既定风险阈值进行对应,当实际执行偏离预警区间时,按风险类型启动针对性的调整措施,如优化工序衔接、提前组织资源或实施阶段性重排,确保风险处置与进度修正同步推进,避免被动纠偏。第四,在过程管控与考核环节,将风

险识别质量和风险应对执行情况纳入进度绩效评价,对风险识别不充分导致计划失真的情况进行责任追溯,通过月度滚动评估不断校准风险与进度目标之间的匹配关系,使联动机制在持续反馈中保持有效运行<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 建立动态风险预控与进度调整体系

在国网电力工程施工实践中,建立动态风险预控与进度调整体系需围绕全过程运行逻辑展开,首先在进度执行层面构建以施工节点为单元的动态风险监测机制,将里程碑计划、月度计划与周作业计划分层对应,通过施工日志、班组作业记录和现场巡检结果持续校核关键工序完成度,对劳动力投入、设备到位率和作业连续性等进度敏感因素实施同步跟踪,并依据既定风险判识标准对偏差幅度进行分级判定,从而在进度尚未形成实质性滞后前识别潜在风险信号,其次在风险触发后的调整环节中,严格区分计划偏差与风险事件诱因,通过项目部组织专业人员开展针对性分析,明确自然条件、交叉作业、物资供应或管理协同等具体成因,并按照风险等级对应启动资源调整、工序重排或作业面转换等措施,确保调整行为具备明确依据和可控边界,再次在组织协同层面建立分层反馈与会商机制,由现场管理人员及时上报风险变化情况,项目管理层负责统筹分析并形成调整建议,将重大进度调整事项报送建设单位或上级管理部门审议,使调整决策兼顾现场实际与总体进度要求,最后在制度保障层面明确动态调整的权限划分与操作流程,细化风险响应时限、调整方案审核程序及调整后进度复核要求,通过制度化约束防止随意变更计划引发新的施工风险,从而形成闭合运行的动态风险预控与进度调整体系。

#### 4.3 构建进度风险预控责任体系

在电力工程施工进度管理中构建进度风险预控责任体系,应紧密结合国网工程项目常态化管理实践展开。第一,以进度目标为主线细化风险责任单元,在施工组织设计和年度、季度进度计划编制阶段,同步分解关键线路与控制性节点,对应建立进度风险责任清单,将自然条件、资源配置、施工组织、外部协调等易引发进度偏差的因素逐项固化为责任条目,并明确由项目经理统一牵头,分管副经理、专业负责人和施工负责人分级承担,形成“节点对应责任、风险对应岗位”的责任映射关系,避免责任交叉或空置情况出现。第二,围绕风险识别与评估环节落实岗位履责要求,在项目部层面设置专职或兼职风险预控岗位,由其负责组织各专业在开工前、节点转换前开展进度风险辨识,对风险发生条件、触发阈值和影响范围进行定性分级,并将评估结果提交进度管理人员纳入滚动计划调整依据,同时要求相关专业负责人对评估结论签字确认,确保风险判断不流于形式。第三,以风险响应执行为核心压实节点责任人职责,对列入重点监控的高风险进度节点,明确单一风险责任人,负责日常进度跟踪、现场条件核查和偏差预警,一旦出现资源不到位、工序衔接受阻或外部条件变化等情况,须按照既定流程第一时

间上报并参与制定调整措施，相关措施需落实到具体工序和作业面，并由进度管理人员同步修订计划参数，防止风险处置与进度管理脱节<sup>[4]</sup>。第四，通过责任追踪与考核机制形成闭环约束，在项目实施过程中建立进度风险责任履行检查制度，将风险台账更新、预控措施执行和问题反馈情况作为检查重点，对跨专业节点实行联合检查和联合签认，检查结果直接纳入月度绩效考核，对因履责不到位导致进度延误的，依据责任清单实施责任追溯和考核扣减，使进度风险预控责任体系在项目全过程中持续发挥约束作用。

#### 4.4 推进进度风险评估工具与标准化流程建设

在国网电力工程施工进度管理中，推进进度风险评估工具与标准化流程建设可从五个层面深化落实。第一，围绕施工组织设计和年度、月度进度计划，同步编制进度风险评估基准，将施工环境条件、资源配置约束、工序衔接复杂度及外部协调因素纳入统一评价框架，结合国网系统内常用的风险分级管控方法，形成适用于输变电、配套土建等不同类型工程的进度风险评分表，使风险识别与进度目标编制在同一工作界面内完成。第二，在施工实施阶段，依据已确定的评分表，对各类进度风险进行概率与影响双维度判断，重点从关键路径作业、关键设备到货、重要分包接口等方面开展定量化分析，通过设定固定评分区间和计算规则，形成可重复使用的进度风险等级判定方法，避免因人员经验差异导致评估结果波动。第三，针对关键进度节点控制，应将风险评估工具与节点审批流程进行绑定，在节点启动前组织施工、监理及建设单位开展联合评估，对人员到位、作业条件、外协配合等要素逐项核查，明确风险等级对应的管控要求与处置路径，未完成风险评估及措施确认的节点不得进入实施阶段，以降低节点失控对总体工期的累积影响。第四，在流程建设层面，应将风险评估作为进度计划执行的固定前置条件，嵌入施工调度、节点验收和计划调整等管理环节，要求在关键工序启动前完成风险等级确认和应对措施备案，并将评估结论作为调整施工顺序和资源投入的重要依据，确保风

险预控与进度管控同步运行<sup>[5]</sup>。第五，在流程运行后期，应同步建立风险评估成果的规范化记录与复盘机制，对评估参数、判定依据及处置效果进行全过程留痕，并在阶段性总结中对评估准确度与执行偏差进行回溯分析，逐步修正评分标准与流程设置，使风险评估经验在后续项目中形成可复用的管理规则。

### 5 结语

综上所述，作为工程全寿命周期内以危害辨识为起点、以风险评估为核心，风险预控通过分级管控、预警监测、资源保障与应急处置等举措将项目施工进度中可能影响关键节点与里程碑的风险降至可控范围。对此，上文结合研究及相关工程实践出发，针对基于风险预控下电力工程施工进度管理提出了包括构建风险识别与进度计划联动机制、建立动态调整体系、完善风险责任体系及推进风险评估工具与流程标准化等具体措施，从而在切实提升电力工程施工进度管理水平情况下规避延期风险的出现。上述措施的实施有助于增强施工组织计划的前瞻性和执行力，并形成动态的风险预控闭环。今后，国网电力应当持续聚焦施工进度风险预控体系的优化与迭代，以提升中国电力工程施工管理整体效能和工程交付质量。

### 参考文献

- [1] 马少峰.电气工程施工安全管理中的风险识别与预控策略[J].价值工程, 2024, 43(35):162-164.
- [2] 高程绪,韩朋.电力工程施工中的进度控制与安全管理[J].电脑乐园, 2023(4):0049-0051.
- [3] 姜富贵.电力工程项目施工阶段进度管理优化方法[C]//2025年第四届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集.2025.
- [4] 贾剑锋,吕国芳,王宝山.电力工程施工管理中存在的问题及应对办法[J].电站系统工程, 2024, 40(5):77-78.
- [5] 王伟伟,刘芃飞,李林青,等.对我国电力工程建设施工中的进度管理的论述[J].科研, 2022(5).

# Research on the Development Status of New Power System Supported by Generative Artificial Intelligence and China's Strategy

Lin Fang Zhen Zhao

China Academy of Information and Communications Technology, Beijing, 100083, China

## Abstract

This study focuses on how generative AI can drive the development of next-generation power systems. By clarifying the core concepts of these systems and analyzing their current applications in power planning, operational control, and equipment maintenance, we explore their transformative impact across the entire power industry chain—from generation and transmission to end-user applications. The research also examines emerging trends in technological innovation, multi-energy scenario integration, and cross-industry collaboration. Grounded in China's energy transition and power market reforms, the study proposes systematic recommendations: strengthening policy guidance, advancing core technologies, optimizing industrial ecosystems, and cultivating interdisciplinary talent. These insights aim to inform policy decisions for leveraging generative AI in building next-generation power systems, ultimately facilitating a green, low-carbon, safe, and efficient energy transformation.

## Keywords

artificial intelligence; power system; strategy

# 生成式人工智能支撑新型电力系统发展现状及中国策略研究

方琳 赵震

中国信息通信研究院，中国 · 北京 100083

## 摘要

本研究聚焦生成式人工智能助力新型电力系统发展。通过梳理新型电力系统内涵，分析其在电力规划、运行控制、设备运维等方面应用现状，探讨其对新型电力系统产业链从发电、输配到用户侧全环节的深度赋能作用，研判未来“人工智能+电力”技术融合创新、多能源场景耦合拓展、跨产业链协同共进的发展趋势。结合中国能源结构转型与电力市场改革实际，提出强化政策引导、攻关核心技术、完善产业生态、培育交叉人才的系统性发展建议，旨在为中国利用生成式人工智能推动新型电力系统建设提供决策参考，助力能源绿色低碳、安全高效转型。

## 关键词

人工智能；电力系统；策略

## 1 引言

新型电力系统以确保能源电力安全为基本前提，以满足经济社会发展的电力需求为首要目标，以新型能源体系建设为基本载体，具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动等显著特征。与此同时，生成式人工智能作为人工智能领域的新兴技术，正展现出强大的创新能力和应用潜力，为解决复杂系统问题提供了新的思路和方法。将生成式人工智能技术引入新型电力系统发展中，有望为电力系统的规划、运行、控制和管理等各个环节带来变革性的影响，

提升电力系统的智能化水平，增强其应对高比例新能源接入带来的挑战的能力。深入研究生成式人工智能在新型电力系统中的应用现状、影响及发展策略，对于推动中国能源电力行业的高质量发展具有重要的现实意义。

## 2 新型电力系统内涵

新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提，以满足经济社会发展的电力需求为首要目标，以新型能源体系建设为基本载体，具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动特征的电力系统。构建新型电力系统是中国实现碳达峰、碳中和目标的关键路径。电力行业作为碳排放的重点领域，通过提升可再生能源在电力供应中的占比，能够有效降低碳排放强度，推动能源生产和消费方式的绿色低碳转型。新型电力系统的建设有助于保障国家能源安全。

**【作者简介】**方琳（1987-），女，中国陕西西安人，硕士，工程师，从事信息与通信、电力系统人工智能、区块链、物联网、工业互联网研究。

减少对传统化石能源的依赖，降低国际能源市场波动对中国能源供应的影响，同时通过增强电力系统的韧性和灵活性，提高应对各类突发事件的能力。构建新型电力系统能够促进能源产业的升级和创新发展，带动新能源、智能电网、储能等相关产业的技术进步和规模扩张，培育新的经济增长点，推动经济社会的可持续发展<sup>[1]</sup>。

### 3 生成式人工智能技术在新型电力系统发展中的应用现状

#### 3.1 电力系统规划中的应用

在电源规划方面，生成式人工智能可对不同类型电源的建设规模、布局和时序进行优化。通过对历史气象数据、能源资源分布、电力需求预测等多源数据的学习和分析，生成多种电源规划方案，并评估各方案在不同场景下的经济性、可靠性和环境效益<sup>[2]</sup>。例如，利用生成对抗网络（GAN）生成不同的风电、光伏电站建设布局，结合经济模型和可靠性指标筛选出最优方案，提高新能源资源的利用效率，降低电源建设和运行成本。在电网规划中，生成式人工智能能够根据城市发展规划、负荷增长趋势以及分布式能源接入情况，生成智能电网的拓扑结构和升级改造方案。

#### 3.2 电力系统运行控制中的应用

在电力调度方面，生成式人工智能有助于应对新能源发电的波动性和不确定性。通过对实时气象数据、发电功率预测、负荷变化等信息的实时分析，生成式大模型能够快速生成多种调度策略，并预测各策略下电力系统的运行状态，辅助调度人员做出最优决策。例如，基于强化学习的生成式模型可在实时运行中不断调整发电计划和电网运行方式，实现电力的精准调度，保障电力系统的供需平衡和安全稳定运行。在电压和频率控制方面，生成式人工智能可根据电网实时运行数据，生成控制指令，调节无功补偿设备和分布式电源的输出，维持电网电压和频率的稳定。以深度神经网络为核心的生成式模型能够快速识别电网电压和频率的异常变化趋势，提前生成控制策略，防止电压崩溃和频率失稳等事故的发生。

#### 3.3 电力设备运维中的应用

生成式人工智能可用于电力设备的故障预测和诊断。通过对设备运行状态监测数据、历史故障记录等进行学习，生成式模型能够预测设备可能出现的故障类型和时间。例如，利用长短期记忆网络（LSTM）生成设备运行状态的预测模型，当监测数据偏离正常范围时，及时发出故障预警，并通过对比历史故障案例，生成可能的故障原因和维修建议，提高设备运维的效率和准确性，降低设备故障率和维修成本。在设备巡检方面，生成式人工智能可辅助制定智能巡检计划。结合设备的重要性、运行环境和历史故障概率等因素，生成式模型生成最优的巡检路径和时间安排。同时，利用计算机视觉技术和生成式模型对巡检图像进行分析，快速

识别设备的缺陷和异常，如输电线路的断股、绝缘子的破损等，提高巡检的质量和效率。

### 4 生成式人工智能技术对新型电力系统产业链发展的影响

#### 4.1 对发电环节的影响

在新能源发电领域，生成式人工智能技术能够显著提升新能源发电的预测精度，优化发电设备的运行控制。通过对气象数据、地理信息和设备运行数据的深度分析，生成式模型可以更准确地预测风电、光伏发电的出力情况，帮助发电企业合理安排发电计划，减少因发电波动导致的弃风、弃光现象，提高新能源发电的稳定性和可靠性<sup>[3]</sup>。这有利于提升新能源在电力系统中的竞争力，促进新能源发电产业的规模化发展。对于传统火电，生成式人工智能可用于优化机组的运行参数，提高机组的发电效率和灵活性。通过对机组运行数据的实时监测和分析，生成式模型能够生成最优的运行控制策略，实现机组的节能减排，同时增强火电在新型电力系统中与新能源协同运行的能力，推动传统火电向灵活调节电源的转型。

#### 4.2 对输电环节的影响

在输电网络规划方面，生成式人工智能技术能够为输电线路的选址、路径规划和容量配置提供更科学的方案。通过综合考虑地理环境、负荷分布、新能源接入等多方面因素，生成式模型可以生成多种输电网络规划方案，并对各方案的经济性、可靠性和环境影响进行评估，为决策者提供参考，提高输电网络规划的合理性和前瞻性。在输电线路运维方面，生成式人工智能可利用无人机巡检图像和在线监测数据，快速识别输电线路的故障和缺陷，生成维修方案，提高运维效率，降低运维成本。

#### 4.3 对配电环节的影响

在配电网规划中，生成式人工智能能够根据分布式能源接入、负荷增长和用户需求变化等情况，生成智能配电网的规划方案，优化配电网的拓扑结构和设备配置。例如，利用生成式模型分析不同区域的用电特性和分布式电源分布，合理规划配电变压器的容量和位置，提高配电网对分布式能源的接纳能力。在配电运行管理方面，生成式人工智能可实现对分布式电源、储能设备和负荷的实时监测和协同控制。通过生成式模型预测负荷变化和分布式电源出力，优化配电网的运行方式，实现电能的高效分配和利用，提高配电网的供电可靠性和电能质量。

#### 4.4 对用电环节的影响

生成式人工智能技术可以为用户提供个性化的用电服务。通过对用户用电行为数据的分析，生成式模型能够了解用户的用电习惯和需求，为用户提供节能建议、电价套餐推荐等个性化服务。例如，根据用户的历史用电数据和实时用电情况，生成式模型为用户制定节能用电方案，帮助用户降

低用电成本。生成式人工智能还可应用于虚拟电厂的运营管理,通过聚合分布式能源、储能和可控负荷,生成最优的电力调度策略,参与电力市场交易,提高用户侧资源在电力系统中的价值和作用。

## 5 生成式人工智能技术支撑新型电力系统发展的未来趋势

### 5.1 技术融合创新趋势

未来,生成式人工智能将与物联网、区块链、边缘计算等技术深度融合,共同支撑新型电力系统的发展。物联网技术能够实现电力系统设备的全面感知和数据采集,为生成式人工智能提供丰富的数据来源;区块链技术可保障数据的安全共享和可信交易,在电力市场交易、分布式能源管理等方面与生成式人工智能协同应用;边缘计算则可在靠近数据源的设备端进行数据处理和分析,减少数据传输延迟,提高生成式人工智能在电力系统实时控制中的响应速度。通过多技术融合,将构建更加智能、安全、高效的新型电力系统运行体系。

### 5.2 应用场景拓展趋势

随着生成式人工智能技术的不断发展,其在新型电力系统中的应用场景将进一步拓展。在电力系统应急管理方面,生成式人工智能可根据灾害类型、电网受灾情况等信息,快速生成应急预案,模拟灾害发展过程和应急处置效果,辅助制定科学合理的应急决策。在电力市场运营方面,生成式人工智能可用于市场价格预测、交易策略制定和市场风险评估,促进电力市场的公平、高效运行。在能源互联网建设中,生成式人工智能可实现多能源系统的协同优化,如电力与天然气、热力等系统的耦合运行,提高能源综合利用效率。

### 5.3 产业协同发展趋势

生成式人工智能支撑新型电力系统发展将带动相关产业的协同发展。一方面,电力企业将加大对生成式人工智能技术的研发投入,与高校、科研机构合作开展技术攻关,推动生成式人工智能技术在电力领域的创新应用。另一方面,人工智能企业、科技初创公司等将与电力企业合作,共同开发面向新型电力系统的产品和解决方案,形成从技术研发、产品制造到应用服务的完整产业链。例如,在电力人工智能芯片研发、电力行业大模型训练、电力智能设备制造等环节,各产业主体将加强合作,实现资源共享和优势互补,促进生成式人工智能产业与电力产业的深度融合和协同发展。

## 6 中国利用生成式人工智能支撑新型电力系统发展的建议

### 6.1 技术研发与创新

加大对生成式人工智能基础技术研究的投入,重点支持在电力数据处理、模型训练、算法优化等方面的研究,提高技术的自主可控能力。鼓励企业和科研机构开展产学研合

作,建立联合实验室和研发中心,加速技术成果的转化和应用。例如,南方电网公司与高校、科研机构合作开展电力行业人工智能创新平台建设,推动了技术的创新发展。加强对电力领域生成式人工智能技术人才的培养,在高校相关专业设置电力人工智能课程,开展在职人员培训,提高人才的专业素养和实践能力,为技术研发和应用提供人才支撑。

### 6.2 产业培育与发展

培育一批专注于电力领域生成式人工智能技术研发和应用的企业,通过政策扶持、资金引导等方式,促进企业做大做强。鼓励企业开展技术创新和产品研发,打造具有自主知识产权的电力人工智能产品和解决方案。加强电力产业与人工智能产业的融合发展,推动产业链上下游企业的协同合作。例如,电力设备制造企业与人工智能企业合作,开发智能电力设备;电力运营企业与软件企业合作,提升电力系统的智能化管理水平。

### 6.3 数据安全与隐私保护

建立健全电力数据安全管理制度,明确数据采集、存储、传输、使用等环节的安全责任和操作规范。加强数据加密技术、访问控制技术的应用,保障电力数据在传输和存储过程中的安全性。采用联邦学习等技术,在保护数据隐私的前提下实现数据的共享和协同计算,促进生成式人工智能模型的训练和优化。例如,在跨区域电力数据共享中,利用联邦学习技术,各参与方在不共享原始数据的情况下共同训练模型,既保护了数据隐私,又提高了模型的性能。

## 7 结语

生成式人工智能技术在新型电力系统发展中展现出广阔的应用前景和巨大的推动作用。同时,生成式人工智能技术对新型电力系统产业链的各个环节产生了积极影响,推动了发电、输电、配电和用电环节的技术升级和产业发展。中国应充分认识到这一机遇,通过政策支持、技术研发、产业培育和数据安全保障等多方面的措施,积极推动生成式人工智能技术与新型电力系统的深度融合,为中国能源电力行业的高质量发展和能源转型目标的实现提供有力支撑。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,生成式人工智能有望成为构建新型电力系统的核心技术驱动力,引领能源电力行业迈向新的发展阶段。

### 参考文献

- [1] 李鹏,余涛,李立涅,等.电力人工智能的演变与展望——从专业智能走向通用智能[J].电力系统自动化,2024,48(16):1-17.
- [2] 王伟胜,解鸿斌,杨知,等.初论电力气象的基本概念与研究方向[J].中国电机工程学报,2024,44(18):7440-7453.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.241858.
- [3] 李建设,支撑新型电力系统的多级协同数智调控关键技术研究及应用.广东省,中国南方电网电力调度控制中心,2021-11-29.

# Discussion on Management and Maintenance of Iron Materials and Equipment

Jianhong Chen

China Railway 23rd Bureau Group Rail Transit Engineering Co., Ltd., Shanghai, 201300, China

## Abstract

Based on the current management practices of construction materials and equipment in subway projects, this paper summarizes the specific approaches and key considerations for material and equipment management in subway construction, drawing from the author's firsthand experience in subway project participation. Taking the shield machine—a critical piece of equipment in subway tunnel engineering—as a case study, the paper explores and analyzes its maintenance management, while also detailing the associated maintenance techniques.

## Keywords

material and equipment management; subway shield; maintenance measures

# 地铁物资设备管理与维保探讨

陈建宏

中铁二十三局集团轨道交通工程有限公司, 中国 · 上海 201300

## 摘要

结合当前地铁建设物资设备管理情况, 从自身参建地铁项目经验入手, 总结地铁施工物资设备管理的具体思路及注意事项, 同时以地铁隧道工程中是很重要的一种设备盾构机为例, 对其维保管理进行了探讨与分析, 并对其维护技术进行了介绍。

## 关键词

物资设备管理; 地铁盾构; 维保措施

## 1 引言

地铁物资设备管理作为地铁工程建设的重要管控环节, 管理水平的高低直接影响地铁工程项目建设的进度形象, 工程质量以及成本效益, 其管理中涉及的市场调查、设备配置方式、采购租赁、进场验收、使用监管、供应评价、核算核销、维护保养等多个管理元素, 各元素都非常重要及关键。

## 2 策划计划管理

地铁建设开始之前, 需要进行前期策划计划, 主要从以下几个方面进行策划计划工作, 首先要根据工程量梳理出物资总需求计划和设备配置计划, 进而依据计划对主要材料进行市场调查, 特别对于地域性较强的材料, 一定要勤跑, 摸清产地来源、产量价格及运距等信息; 对于设备配置方式, 需要进行设备选型会议探讨以及进行新购或租赁或调拨经济比选, 然后细化物资设备成本、风险预控关键点, 并制定相关应急预案。

**【作者简介】**陈建宏 (1984-), 男, 中国四川南充人, 本科, 工程师, 从事供应链管理、设备管理研究。

## 3 采购管理

采购之前, 进行采购计划方案报批, 分类实施采购方案, 甲供类物资尽早与业主方进行沟通协调; 其他主要物资, 按采购方案批复进行招投标、竞争性谈判、询价、单一来源谈判、网络询价等方式进行采购, 要积极探寻集中采购模式, 充分发挥带量采购、源头采购优势。在招投标、竞谈等评标过程中, 要将前期的市场调查报告带入评标过程, 择优选择供应商。对于项目物资供应保障, 须加强市场调研, 结合建设项目属地建材市场规律, 深度进行采购形式研判, 针对突发情况要有灵活采购方式来保障供应的应急预案。

## 4 验收、使用

### 4.1 物资设备进场验收

各项物资进场时, 必须加强验收手续, 严格按合同载明的验收方式进行进场验收, 严格清点数量及过磅验收, 全面实行多方签认模式。

严格质量验收标准, 杜绝不合格物资设备进场, 同时对随货证明文件、送货单、过磅单等收集完整, 归档记录台账, 作为原始资料规范存储到位。

对设备进场组装、安装, 需要组、安装方案, 按方案

规定时间节点，分阶段验收组、安装进度，质量是否满足要求，安全性能保障是否有效。

租赁类设备进场，要及时进行性能检查，收集年度检验报告，操作许可证等资料，规范登记台账并向监理单位进行报检。

## 4.2 物资设备使用管理

加强物资设备使用过程监管，主体材料要实行定额管理，控制发料环节，必须建立单位工程、分部分项工程限额发料台账。时刻关注材料消耗合理性，对于异常情况要及时发现并进行纠偏。

严格监管设备运转情况，做好运转记录，对设备使用时间同样实行多方签认。

## 5 资产效能管控

新购设备，按规定及时建立好固定资产台账，确保定人、定机、定岗、定责制度落实到位，确保设备资产性能完好，同时优化提升设备使用率，减少设备闲置率，对闲置设备积极通过调拨、对外租赁等方式进行资产盘活，优化资产效能。如确需闲置的设备，要安全存放，并安排专人进行日常检验及保养。

资产类周转物资，如钢模板、台车、木方、钢板桩等周转物资，要坚持定期盘点清查；周转使用完成后要及时回收、妥善保管，并主动通过调拨，平台转卖，沟通回收等方式尽快进行处置，防止资产效能流失。

## 6 供应评价

加强供应商管理，建立供需双方评价机制，实施动态供应链管理，严格甄选优质供应商上报审批进入优秀合格供应商库，同时，收集供应商对需求方的评价反馈，通过反馈信息分析缘由，并及时加以改进。真正实现“诚信履约、互惠共赢”

## 7 核算核销

过程周期核算，一般按月为单位，坚持每月进行库存盘点，同时核算当月物资实际消耗和定额消耗的量差，并核算与预算责任成本指导价之间的价差。通过过程周期核算，及时发现问题，坚决整改到位，堵住效益损失漏洞。

单位工程量消耗核算，对已完工单位工程、分部分项工程，及时核算物资节超情况，对超额部分按合同及时对下计价款中扣除。

定期核算，工程即将完工阶段，要进行开累总体统计及核算。对物资的节超、设备摊销、租赁费用进行深入的分析研究，找出管控的亮点，同时更重要的时找出管理的欠缺，总结经验，杜绝相似的问题为项目带来的成本增加。

## 8 以地铁盾构机为例，探讨维保思路。

盾构机单机价格很高，目前国产替代已较为普遍，但

是由于市场保有盾构机大多寿命已经达到 10 年，设备寿命进入尾声，极易导致设备的失效，这不但会对正常的工程造成影响，而且还会带来许多的安全隐患。



图 1 盾构机

### 8.1 盾构机设备管理、维保目的

盾构机包括了钢结构、起重系统、监控系统等多个子系统，在运行的时候，如果有一个部件出了问题，那么整个系统就不能正常工作了。为了保证工程的正常运转，降低设备的失效几率，企业必须要定期的对其进行保养，以提高设备的使用质量，及使用寿命。

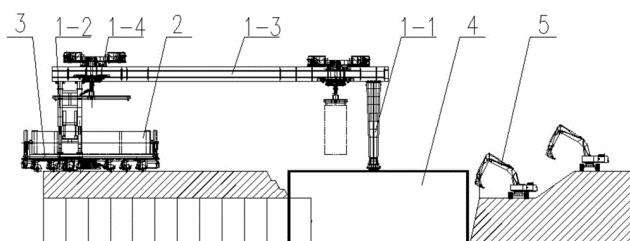


图 2 盾构机施工方法

### 8.2 盾构机管理办法

#### 8.2.1 明确设备管理人员职责标准

要想有效的提升盾构机的管理效率，要遵循“管养并重”的方针，就必须要建立起一套完整的责任体系，让所有的工作人员都能够清楚的知道自己的职责，各关键部位要有相应责任人，责任人必须熟悉部位各项性能参数，主管人员要时常安排巡视检查，对盾构机各项性能指标了然于胸。

#### 8.2.2 设备运行动态管理制度

设备在运转的时候，要进行严密的监控，对盾构机的姿态、掘进速度等进行数据分析，并制定出一个合理的检测周期和监控系统，运行一旦出现异常，能够通过动态监控管理及时发现问题并予以纠正，保证盾构机运行正常。

### 8.3 盾构机设备维保管理措施

#### 8.3.1 局部检测与全方位检测

一般来说，盾构机的维护管理工作包括两种方法，一是局部检测，二是全方位的检查，局部检测要与针对性，对

易出现问题部位要提高检测频率。另外，建议根据地层情况以掘进单位环数为周期，定期进行全方位检测。这样才能确保设备的整体质量，在后续的掘进过程中能够更好的发挥作用。

### 8.3.2 仪器监测

监控设备的作用就是让用户可以更快的了解到设备的运行状态，并且可以在最短的时间内，找到设备的缺陷，从而更好的判断出设备的问题。监控是一种辅助的工作，它的作用就是对仪器的各种参数进行检测，从而发现一些不能用肉眼看到的问题。一旦发现了问题，就可以进行相应的调整。一般来说，监控的主要内容就是仪器的各项性能和参数，为了确保监控的准确性和可靠性，工作人员要按照实际情况进行分类，分为 A、B、C 三个等级，A 是最重要的仪器，B 级是较重要的仪器，C 级是最基础的仪器。根据不同的系统，对不同的设备进行监控，将它们进行分级，从而达到科学的目的，从而提升设备的维修效率。

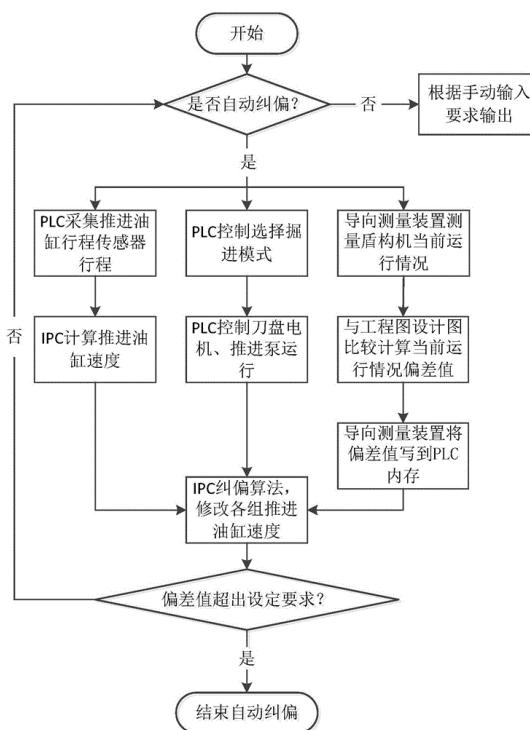


图 3 盾构机纠偏系统图

### 8.3.3 日常维保

对盾构机的日常维保非常重要，在维修的过程中，技术人员要经常对零件进行紧固和检查，并保持各部位润滑，另外对于固液气体管道，必须要确保它的密封性能。由于盾构机所处的工作环境十分恶劣，日常防腐维护也相当重要，坚持日常保养维修才能最大限度延长设备寿命并发挥更大的作用。

### 8.3.4 建立维保档案

建立维保档案，就是要根据设备在使用中发生的各种问题，归纳出一系列的故障规则，以便对潜在的危险做出判断。

文件中还应详细记载设备的用途、工作时间等。另外，还要收集和整理有关设备维修的相关资料，包括设备的名称、维修项目等。在设备维修文件中，要包括维修的零件、原因、维修方法、维修人员等。

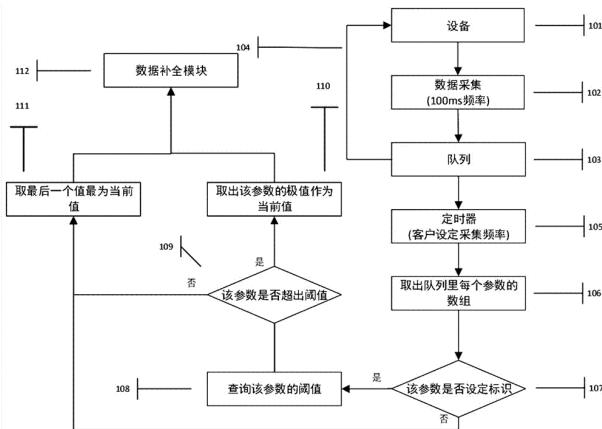


图 4 盾构机数据采集

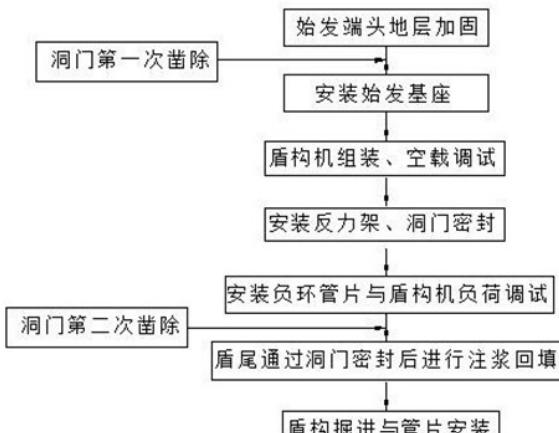


图 5 盾构机施工流程

## 9 结语

在城市地铁建设中，物资设备管控水平，及盾构施工设备起着举足轻重的作用，通过对对其进行科学有效的管理，才能确保安全圆满的完成施工任务，为企业创造更大的价值。

## 参考文献

- [1] 陈外洋.厦门地铁盾构设备绿色成本管理与维修研究[J].建筑机械, 2017 (6) : 197-200.
- [2] 房海军.南京地铁盾构机具配备维修与管理[J].设备管理与维修, 2015 (3) : 41-44.
- [3] 刘敏.浅论盾构施工项目设备管理[J].经济师, 2018 (11) : 292- 293.
- [4] 祁伟栋.地铁盾构施工设备管理及维保技术分析[J].工程建设与设计, 2020 (5) : 240-241, 244.

# The mechanism and model of promoting rural spatial reconstruction through comprehensive land consolidation throughout the region

Dan Du

Liaoning Urban and Rural Geographic Information Technology Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

## Abstract

Comprehensive land consolidation at the territorial scale serves as a fundamental instrument for the coordinated optimization of the national spatial pattern, playing a crucial role in addressing structural imbalances in rural space and improving the efficiency of land resource allocation. At present, rural areas commonly face problems such as fragmented land use, dispersed functional layouts, and insufficient coordination among production, living, and ecological spaces, which constrain the overall quality of rural development. Focusing on the objective of rural spatial restructuring, this paper systematically examines the functional pathways through which comprehensive land consolidation promotes land factor integration, spatial function reorganization, and coordinated ecological restoration, and analyzes the intrinsic driving mechanisms underlying the intensification of rural production space, the optimization of living space, and the restoration of ecological space. The study provides theoretical support for enhancing rural spatial governance capacity and promoting sustainable rural development.

## Keywords

Comprehensive land consolidation; rural spatial restructuring; land use optimization; spatial coordination; rural revitalization

# 全域土地综合整治促进乡村空间重构的机理与模式

杜丹

辽宁省城乡地理信息科技有限公司，中国 · 辽宁 沈阳 110000

## 摘要

全域土地综合整治作为统筹优化国土空间格局的重要抓手，在破解乡村空间结构失衡、提升土地资源配置效率方面发挥着基础性作用。当前乡村地区普遍存在土地利用碎片化、功能布局分散以及生产生活生态空间协同不足等问题，制约了乡村整体发展质量。本文围绕乡村空间重构目标，系统梳理全域土地综合整治在土地要素整合、空间功能重塑及生态修复协同中的作用路径，分析其对乡村生产空间集约化、生活空间优化与生态空间修复的内在驱动机制，为提升乡村空间治理水平与促进乡村可持续发展提供理论支撑。

## 关键词

全域土地综合整治；乡村空间重构；土地利用优化；空间协同；乡村振兴

## 1 引言

随着城镇化进程持续推进与乡村人口结构深刻变化，传统乡村空间形态与土地利用方式逐渐暴露出结构失衡与功能弱化等问题。建设用地布局分散、生产空间效益偏低以及生态空间破碎化等现象交织存在，导致乡村空间整体承载能力与发展韧性不足。在此背景下，全域土地综合整治以区域整体统筹为导向，通过系统整合农用地、建设用地与生态用地资源，为乡村空间格局优化提供了现实路径。相较于以往单一要素整治方式，全域土地综合整治更加强调空间功能

协同与长期治理效应，对乡村空间重构具有显著引导作用。深入分析其促进乡村空间重构的机理与模式，有助于揭示土地整治与乡村空间演变之间的内在逻辑，为完善乡村空间治理体系、推动乡村高质量发展提供理论依据与实践参考。

## 2 全域土地综合整治的理论基础与现实背景

### 2.1 全域土地综合整治的内涵界定与发展演进

全域土地综合整治是在区域整体视角下，对农用地、建设用地与生态用地进行系统统筹和结构优化的综合性治理方式，其核心在于突破单要素、单项目整治的局限，将土地整治与空间布局调整、功能重塑和用途管控有机结合。从早期以耕地整理和补充耕地为重点的土地整治实践，逐步演进为强调空间统筹、用途协同和综合效益提升的全域整治模式，其目标由数量补偿转向质量提升与结构优化并重，整治

**【作者简介】**杜丹（1983-），女，硕士，工程师，从事城市规划、土地资源管理研究。

内容由单一工程措施拓展至规划引导、制度安排与长期管护相结合，反映了国土空间治理理念由粗放管理向系统治理转变的发展趋势。

## 2.2 乡村空间重构的概念体系与主要特征

乡村空间重构是指在社会经济转型与要素重组背景下，对乡村生产空间、生活空间和生态空间进行系统调整与功能再配置的过程，其本质在于重塑乡村空间结构与功能体系。该过程不仅表现为空间形态的变化，还体现为土地利用方式、空间组织逻辑和功能承载能力的整体重塑。乡村空间重构具有综合性、动态性与协同性特征，既受人口流动、产业转型等内生因素影响，也受到政策调控与空间治理方式变革的外在作用，其目标在于实现空间结构更加紧凑、功能分工更加清晰、生态环境更加稳定的发展状态<sup>[1]</sup>。

## 2.3 全域土地综合整治与乡村振兴战略的内在关联

全域土地综合整治与乡村振兴战略在目标取向与实施路径上具有高度契合性。乡村振兴强调产业兴旺、生态宜居和生活富裕，而这些目标的实现均依赖于合理的土地空间格局与高效的资源配置方式。通过全域统筹土地资源，全域土地综合整治能够为乡村产业发展提供空间保障，为改善人居环境创造用地条件，并为生态修复与保护预留空间载体。同时，该整治方式通过优化土地要素配置，增强乡村发展的内生动力，推动乡村由单一要素驱动向多功能协同发展转变，是落实乡村振兴战略的重要空间支撑手段。

## 3 乡村空间演变问题与全域土地综合整治的现实指向

### 3.1 传统乡村空间结构失衡的主要表现

在长期发展过程中，部分乡村空间布局缺乏整体统筹，呈现出生产、生活与生态空间相互交织且边界模糊的特征。建设用地分散蔓延导致村庄形态松散，公共空间不足削弱了乡村整体功能承载能力，生产空间规模偏小制约了农业适度规模经营。同时，生态空间被不断挤占，生态斑块破碎化现象较为突出，空间结构失衡逐渐成为影响乡村可持续发展的重要因素，反映出传统乡村空间组织方式难以适应现代发展需求的现实困境。

### 3.2 土地利用碎片化对乡村发展的制约机制

土地利用碎片化是乡村空间演变过程中普遍存在的问题，其直接表现为地块规模偏小、形态零散以及用途混杂。这种状态削弱了土地资源的整体利用效率，增加了基础设施建设与公共服务供给成本，限制了农业机械化与规模化经营条件的形成。同时，碎片化用地结构不利于生态空间的连续保护与系统修复，导致生态功能弱化。土地要素难以通过市场与制度机制实现有效整合，使乡村发展长期处于低效率、低协同的运行状态。

### 3.3 全域土地综合整治介入乡村空间重构的现实必要性

面对乡村空间结构失衡与土地利用效率偏低等问题，

单一项目式整治已难以实现系统性改善，全域土地综合整治的介入具有明显现实必要性。通过以区域为单元统筹配置各类土地资源，可以有效打破行政边界和用地类型限制，推动土地要素在更大尺度上的整合重组。这种整治方式有助于引导乡村空间由无序分散向集约有序转变，促进生产生活生态空间协调发展，为乡村空间重构提供制度保障与实施路径，是提升乡村空间治理效能的重要手段。

## 4 全域土地综合整治促进乡村空间重构的作用机理

### 4.1 土地要素重组对乡村生产空间重构的驱动机理

全域土地综合整治以区域整体为单元，对原本分散、低效配置的土地要素进行系统性重组，是推动乡村生产空间重构的核心动力来源。在整治过程中，通过对耕地、设施农业用地及相关配套用地的统筹安排，原有零散破碎的生产地块在空间上实现连片整合，生产空间结构由分散无序向集中有序转变。这种土地要素重组有效改善了农业生产条件，降低了生产组织成本，提高了土地投入产出效率，为规模化经营和专业化生产提供了稳定空间基础。同时，土地整治在重组生产要素的过程中，强化了生产空间与交通、水利等基础设施的协同配置，使生产空间不再孤立存在，而是嵌入更完整的生产体系之中。随着土地要素配置方式的调整，乡村生产空间逐步形成以高效利用为导向的结构体系，推动传统生产空间向功能清晰、布局合理、支撑产业发展的方向演进，从而在空间层面为乡村产业转型与结构升级提供持续动力<sup>[2]</sup>。

### 4.2 居住用地优化对乡村生活空间整合的影响机制

居住用地优化通过调整村庄内部建设用地布局，对乡村生活空间整合产生深远影响。全域土地综合整治在整体规划引导下，对分布零散、利用效率偏低的宅基地进行系统整理，引导居住用地向条件较好、基础设施相对完善的区域集聚，使村庄空间形态由松散扩展向紧凑布局转变。这一过程有助于降低生活空间组织成本，提高公共服务设施配置的效率，改善居民日常生活的空间环境。同时，居住用地优化为公共空间和服务设施预留必要空间，推动生活空间由单一居住功能向生活、交往和服务复合功能转变。通过对闲置和低效建设用地的整合利用，生活空间内部结构得到优化，空间秩序更加清晰，居民生活品质随之提升。在这一机制作用下，乡村生活空间逐步形成布局合理、功能完善、服务集约的发展格局，实现由数量扩张向质量提升的转变。

### 4.3 生态用地统筹对乡村生态空间修复的引导机制

生态用地统筹是全域土地综合整治引导乡村生态空间修复的重要机制，其作用体现在生态空间结构与功能的系统性重塑之中。通过对林地、水域及其他生态用地的整体统筹安排，原本被生产和建设活动切割的生态空间得以重新连接，生态斑块之间的连续性和完整性明显增强。在整治过程中，生态用地在空间布局上获得相对稳定的位置，减少了人为干扰对生态系统的影响，为生态功能恢复创造了必要条件。

件。同时,生态用地统筹强化了生态空间在整体空间结构中的基础性地位,使生态空间不再处于被动让位状态,而是成为空间布局的重要组成部分。随着生态空间格局的逐步优化,生态修复由局部、零散推进转向整体、系统实施,生态服务功能得以持续恢复和提升,为乡村空间重构提供长期稳定的生态支撑。

## 5 基于功能协同的乡村空间重构路径模式分析

### 5.1 生产生活生态空间协同重构的逻辑框架

在全域土地综合整治背景下,生产空间、生活空间与生态空间的协同重构并非简单叠加,而是通过功能关系重塑形成相互支撑、相互制约的整体结构。从空间逻辑看,生产空间是乡村发展的物质基础,生活空间是人口集聚与社会活动的承载载体,生态空间则提供长期稳定的环境支撑,三类空间在面积占比、功能权重与空间位置上存在显著差异。部分地区生产空间占比长期超过 60,生活空间布局零散,生态空间连续性不足,导致整体空间运行效率偏低。通过协同重构,将生产空间集中布局在基础条件较好的区域,提高单位面积产出效率,同时压缩低效建设用地规模,使生活空间向交通便利、公共服务可达性较高的区域集聚,生活空间利用强度可提升 20 以上<sup>[3]</sup>。在此基础上,通过对生态空间的整体统筹,构建连续稳定的生态格局,使生态空间在整体结构中的比例保持在 30 左右,形成生产高效、生活宜居、生态稳定的空间关系。该逻辑框架强调三类空间在功能上的互补与边界上的协调,推动乡村空间由分散割裂向系统协同转变。

### 5.2 土地整治单元划分与空间功能重塑机制

土地整治单元划分是实现乡村空间功能重塑的重要基础,其合理性直接影响全域土地综合整治的实施成效。在实践中,以行政村或自然片区为基本单元,结合地形条件、土地利用现状与产业结构特征进行整治单元划分,可有效避免整治尺度过大或过小带来的效率损失。通过对土地整治单元内部用地结构的系统分析,明确生产、生活与生态功能的主导方向,使单元内部空间功能更加清晰。相关实践表明,经过整治后,单元内耕地集中度可由原有的 45 提升至 70 以上,建设用地布局紧凑度提高 15 左右,生态用地连通长度增加 2 至 3 倍。土地整治单元在空间功能重塑过程中,不仅优化了土地利用结构,还强化了单元之间的功能分工与协作

关系,使不同单元在整体空间体系中各司其职。通过这种方式,乡村空间重构由单点调整转向单元联动,实现空间结构的整体优化与功能提升。

### 5.3 基础设施与公共服务配置对空间结构优化的支撑作用

基础设施与公共服务配置是推动乡村空间结构优化的重要支撑条件,其配置水平直接影响空间重构效果的稳定性与可持续性。在全域土地综合整治过程中,通过对道路、水利、供水供电等基础设施进行系统布局,可显著提升空间运行效率。道路密度由每平方公里 2 提升至 4 后,生产空间与生活空间之间的联系强度明显增强,农产品运输时间平均缩短 30。公共服务设施配置的优化同样对空间结构产生深远影响,当医疗、教育与养老设施服务半径控制在 1.5 以内时,生活空间的集聚效应显著增强,居住用地利用率提高 20 以上<sup>[4]</sup>。基础设施与公共服务在空间中的合理嵌入,使原本功能分散的空间单元形成稳定联系网络,推动空间结构由松散型向网络化转变。这种支撑作用不仅改善了空间使用效率,也增强了乡村空间系统的整体韧性,为空间重构成果的长期保持提供了现实保障。

## 6 结语

全域土地综合整治通过统筹配置各类土地资源,为乡村空间重构提供了系统性解决路径。从生产、生活与生态空间协同重塑的内在机理来看,其核心在于以整体治理思维优化空间结构与功能布局,推动乡村空间由分散低效向集约有序转变。通过土地要素重组、功能单元重塑以及基础设施与公共服务的协同支撑,乡村空间运行效率与发展韧性得到有效提升。未来,应在实践中持续强化全域统筹与动态调适机制,使乡村空间重构更好服务于乡村高质量发展目标。

### 参考文献

- [1] 曹玉.全域土地综合整治中农民权益保障机制研究[J].安徽农业科学,2025,53(23):264-266+272.
- [2] 胡代平.全域土地综合整治中稻渔综合种养生态循环实践的现存问题与优化对策[J].南方农机,2025,56(23):68-71.
- [3] 黄晓磊.全域土地综合整治背景下国土空间布局优化策略[J].农村科学实验,2025,(24):46-48.
- [4] 王磊.城乡空间结构优化下的全域土地综合整治策略探究[J].现代农业科技,2025,(23):178-181.

# Analysis of the Cause of Loss of Control of Steam Turbine Speed Regulating System and Countermeasures

Junda Zhang

Liaoning Datang International Huludao Thermal Power Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

## Abstract

The steam turbine speed control system is an important component of the steam turbine generator set in thermal power plants. Its function is to adjust the unit's speed in real time and control the steam flow, ensuring stable operation of the unit under grid frequency and load variations. The speed control system involves the coordinated work of multiple links, and its operational stability is closely related to the safety of the unit and the stability of the grid frequency. Especially for large thermal power units, when facing complex load conditions or variable disturbance conditions, speed fluctuations, oscillations, or even unit protection tripping due to speed control system failures often occur. Based on this, this paper starts with analyzing the causes of speed control system loss of control, grounded in the actual operating conditions of China's thermal power plants, and explores more practical and effective countermeasures to improve the reliability and disturbance resistance of the power plant's speed control system.

## Keywords

steam turbine speed regulation; loss of control analysis; countermeasures; training and emergency drills

# 汽轮机调速系统失控的原因分析及应对措施分析

张峻达

辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司, 中国 · 辽宁 葫芦岛 125000

## 摘要

汽轮机调速系统是火电厂汽轮发电机组的一个重要组成部分, 其功能是对机组的转速进行实时调节、对蒸汽流量进行控制, 确保在电网频率、负荷变动情况下机组保持稳定运行。调速系统涉及多个环节协同工作, 其运行稳定度与机组安全、电网频率稳定息息相关, 特别是大型火电机组在面对一些复杂的负荷工况或者是多变的扰动工况时, 经常出现因调速系统故障而引发的速度摆动、振荡甚至机组保护跳闸等情况。基于此, 本文以剖析调速系统失控原因为出发点, 立足于中国火电厂实际运行情形, 探讨更多实用有效的应对措施, 以提升电厂调速系统的可靠度和抗扰动能力。

## 关键词

汽轮机调速; 失控分析; 应对措施; 培训与应急演练

## 1 引言

汽轮机的调速系统是汽轮机整体运转过程中不可或缺的一项, 并且也起到了一个非常重要的作用。但是在整个汽轮机的调速系统运转的过程中, 不可能毫无故障发生, 常常会因为一些极微小的因素而影响着整个汽轮机运转工作的失效性, 最终导致了汽轮机在工作过程中出现许多故障, 众多系统故障加之在一起就会严重制约着整个汽轮机的发展与进步。因此就需要对汽轮机调速系统的故障原因进行深入了解, 并且及时研究出相对应的处理方案。

## 2 汽轮机调速系统失控的原因分析

### 2.1 液压伺服系统工况退化引发执行失真

汽轮机调速系统的液压伺服系统直接驱动调节阀动作, 可见液压伺服系统的运行状态直接影响调速的稳定性。基于液压油长期处于高温、高压下循环流动, 当油质得不到良好管理时, 就会出现油液变黑、黏稠甚至乳化的现象, 以及油中的杂质和微小颗粒也会越来越多, 使得调节阀开度反应缓慢、负荷调整滞后严重、阀位与指令不符的问题。与此同时, 随着运行时间不断累积, 液压油泵出现控制油压波动, 导致伺服执行能力降低, 这些问题多在启停机及负荷急剧变化时发生, 如果未能及时发现和解决, 将制约调速系统的线性调节能力, 进而引发转速、负荷摆动以及调速系统无法对机组进行有效控制等问题<sup>[1]</sup>。

### 2.2 调速器参数配置与机组动态特性不匹配

有的火电机组在投运初期或者进行系统改造之后, 依

【作者简介】张峻达 (1997-), 男, 中国辽宁朝阳人, 本科, 助理工程师, 从事汽轮机调速系统研究。

然使用原有的调速器参数值来运行，并没有针对锅炉蒸汽压力、主再热温度以及转子惯量的变化对调速器的参数进行合理修正，从而可能造成机组控制特性和机组动态特性不相适应。具体表现为：在深度调峰、快速减载工况下，以及电网频率发生剧烈波动时，如果比例系数过大，易造成调门开度大幅波动，执行机构动作频繁，转速来回波动；如果比例系数过小或积分时间选择不合理，也会导致调速响应迟缓，转速偏离无法有效消除。实际运行中常见于负荷指令变化后转速不能及时恢复，或者出现短时超速、欠速现象。

### 2.3 测量元件及信号通道可靠性下降

调速系统的转速、阀位等测量信号，都是建立在现场测量元件与信号通道的状态基础上，其可靠性将直接影响调速系统对机组状态的正确判断。在机组运行过程中，机组转速传感器易受到机组振动、环境温度变化以及元件老化等因素的影响，导致其输出信号变化较大或出现零点偏移、瞬间失电等现象，运行中表现为机组转速反馈信号不稳定或不相符。另一方面，信号电缆由于长期处于高温、高湿、油污等恶劣环境下，加上接线端子松弛、接地不正确或屏蔽层损坏等，极易引入干扰信号，进而造成机组反馈值发生跳变或者漂移。这些都使得调速系统获得的反馈信号失真，导致调速系统给出的控制指令与机组当前的实际工况相脱离，最终可能导致机组调速响应滞后、调节幅度过大，甚至整个调速系统失稳。

### 2.4 人员操作与应急处置能力不足

调速系统较为复杂，涉及液压、机械、电气以及控制逻辑等多方面，对运维人员的专业性与规范性操作提出更高要求。然而就实践情况来看，仍有部分运维人员以经验为依据进行判断，对于调速系统内控逻辑、保护联锁关系、失控发展演变，以及一些早期异常等均存在认识上的不足。比如：面向调节阀动作缓慢、转速波动紧凑、油压短时间内异常等情况，经常被当作一般工况忽略，并未深入挖掘该异常状态是否会影响调速系统的稳定性，并且在负荷调整和工况切换过程中随意性较强，导致意外情况出现后未能及时做出正确处理，使扰动进一步扩大。其次，调速系统应急演习没有充分考虑该机组调速系统特点，缺乏针对性的专项演习，使得人员在真正发生应急事故时不能果断处理，增加了调速系统失控的可能性<sup>[2]</sup>。

## 3 汽轮机调速系统的应对措施分析

### 3.1 强化液压伺服系统的精细检测与维护

依托中国火电机组长期运行的实践经验，液压伺服系统的可靠提升可从“运行可控、状态可判、处置可行”上同步推进。以下对具体操作步骤进行详细说明：一是在日常运行维护工作中，将液压油状态作为控制的重点，即在常规定期换油基础上增加简单易行的检测手段，例如定期取样查看油色、油质沉降情况，同时结合日常的水分检测、黏度检测，

把油质的变化、阀位出现的动作迟滞、油压波动等情况一一记录下来，不再单凭“目测经验”就判断是更换滤网或是油路清洗等。二是在设备检修消缺过程中，要把伺服阀、油泵等关键部位纳入重点检查项目之中，通过检测阀芯滑动是否灵活、密封件是否完好，以及对比油泵出口的压力和流量等状态的方法，来判断该设备的工作状态是否出现异常，同时利用机组以往的运行参数形成标准对照，针对其中性能下降趋势的部件提前安排好维修或者更换计划，避免出现带缺陷运行的情况发生。三是在运行管理方面，要提高一线运行人员对液压系统异常现象的识别能力，把油压异常、执行机构不同步动作、阀位反馈不稳定等现象作为重点关注的信号，并加强班组内技术学习、现场操作技能训练，确保在异常初期运维人员能够按规程采取相应措施。通过上述途径的逐步实现和完善，可在预算范围内最大程度提高液压伺服系统的运行可靠性，维持调速系统始终处于既稳定又受控的状态，这与火电厂长期安全运行的要求高度契合<sup>[3]</sup>。

### 3.2 优化调速器参数标定与动态自适应调整

为防止参数设置不当引起的振荡或迟滞问题，建议引入标准的参数标定流程，并在此基础上融合动态自适应调整，以此来促进工作效率的提升。具体来说，采用适合机组自身实际工况参数的初始标定方法，即投运或是检修结束之后，不要直接使用出厂或是之前机组实际使用的参数，应当以目前的蒸汽压力、温度及转子惯量，再结合调节阀自身的实际动作速度来做实验。例如，可以在机组并网之后把负荷由原值升高或者降低，然后让机组的负荷做短时间的阶跃试验，逐步将系统参数调试到一个合适的阈值。注意每次标定只调整一个参数，打个比方，如果调节阀跟随转速变化响应不及时，那么则调整调节阀的时间常数；如果有显著的滞后现象或振荡，可以增大比例系数或将积分改为纯微分；当转速调节变化大，则减小比例系数或增大积分时间等。这样有助于保证在正常范围内负荷变动期间，阀位变化平缓、转速回跳时间可控，避免了大范围负荷变化造成的低负荷摆动剧烈、高负荷调节缓慢等问题。其次，基于运行记录开展参数定期复核。机组经过长时间运行后，液压油的状态变化、执行机构间隙和环境温度均会在一定程度上影响调速性能。基于此，运维人员应定期调阅 DCS 历史曲线，通过对机组调负荷过程中的转速偏移、回稳时间和是否过调等问题进行对比分析，并在保障机组安全与稳定的前提下微调参数，每次仅作一个参数的修改，并做好记录工作，切勿大范围变动，避免使新形成的参数发生较大的波动，保障参数优化工作顺利开展。另外，也可结合现场条件采取自动修整方法。满足条件的调速系统可以设置根据转速偏差大小进行自动微调的功能，当负荷突变或者电网频率波动时，适当修正增益，但是要严格规定调整的上下限，并详细记录修正轨迹，方便运行人员随时查看和人工干预，从根本上提高调节系统对工况变化的适应性，为现场的长期稳定运行奠定基础。

### 3.3 加强传感器与信号通道的冗余设计与故障隔离

调速系统想要稳定运行离不开高质量的信号输入与良好的反馈闭环,因为转速、压力和阀位等重要参数的采集不到位,容易引起整个系统的误判断,所以对测量点的状态要考虑给定的重要性以及冗余度,对重要的测量点则需配备 2 套以上传感器,必要时可发起测量点并联,通过二路比较值来判别单个传感器是否因长期使用出现的老化、螺丝松动、位置偏移等问题造成的传感器内部电阻变大。这是一种防止错误信号参与调节计算的方法,是目前多数火电机组已经实现且相对稳定的方式。其次,在敷设线路时对强电和弱电分开敷设,在弱电线路中做好屏蔽处理、确保屏蔽层接地良好,并对干扰性强的信号回路加装简单隔离、滤波器等装置,当某一路信号出现跳变或者回路中断现象,可通过回路内的信号截止功能排除错误信号进入控制系统。最后,加强对传感器状态的维护管理,重点关注系统运行中波动较大、校准误差较大的点,将其纳入巡检和检修管理范围之内,通过定时维护现场与控制系统之间数据传输的变化点,将问题及时处理,确保调速系统在长期运行状态下保持稳定的信号输入<sup>[4]</sup>。

### 3.4 开展针对性运维人员培训与应急演练

稳定运行的调速系统除了需要技术支持之外,还需要有负责维护调试的专业人员与应急解决方案,保证遇到问题能够做出正确应对。以下对具体操作步骤进行详细说明:首先,应该根据调速系统复杂的结构、多样的故障类型,设计整体性培训方案,包括介绍调速系统的原理、构成结构、常见失控征兆和处理办法等,使运维人员有充足的知识储备,引导他们可以从理论上了解调速系统的工作行为特点。再者培训内容要结合机组的实际结构,从常见的问题出发,重点讲解汽轮机调速系统的基本控制逻辑、液压伺服机构的工作过程、转速和阀位信号的形成与传输过程,并结合现场以往发生案例,如调节阀迟缓、油压波动、转速信号不稳定等具体问题进行讲解,这种“情境培训+案例模拟”方式不仅直观地将“哪一部位出现了故障”映射出来,更能追溯其成因,形成培训中可复用的问题——处理模板。这样一来,

运维人员不再依靠经验去随意进行参数修改。另外,培训还应该加强动手技能培训,通过现场教学方法指导人员学会如何检查液压油清洁度、油动机行程、伺服阀的动作试验以及传感器的零点校验等内容,只有全面掌握不同运行状态下的操作边界和注意事项,并遵照已经确定好的处理办法,才能快速解决调速系统问题,避免人为因素扰动系统本身的稳定性。最后,以应急演练的形式检验培训效果。具体而言,针对负荷突变、调节阀误开、调速系统误动等典型工况进行模拟演练,重点训练运维人员对事故信号判断的速度、运行方式调整的操作流程以及汇报路径等,一旦在复盘过程中发现相互配合不协调、动作迟缓等问题,需要反复修改、完善应急处置流程,确保工作人员在真正出现故障时能迅速进入应急处理状态,稳定机组运行。

## 4 结语

综上所述,汽轮机调速系统失控不是某一方面的原因造成的,而是液压伺服状态、调速器参数设置、信号是否正确、工作人员技能水平等多重因素综合导致的结果。针对火电厂汽轮机调速系统失控的问题,我们提出了提高液压系统维护质量、优化调速器各项参数、保障测量信号可靠性、加大员工培训力度和开展应急演练等对策,旨在应对多重压力下调速系统可能面临的风险。未来,还需摸索更多切实可行的创新路径,力争提高机组运行稳定性,保证火电机组运行效能。

## 参考文献

- [1] 吕蒙,董伟,张鹏,等.660 MW汽轮机调速之星同轴给水泵启动调试及问题分析[J].电站系统工程,2024, 40(5):49-54.
- [2] 石宽宽,钟家旺,王明强.汽轮机调速阀开度信号下降原因分析[J].石油化工设备技术,2025(4).
- [3] 张小科,王景钢,郭辉,等.汽轮机调速系统异常引发机组负荷波动的分析及处理[J].电站系统工程,2023.
- [4] 江涛,赵宇,黄颖,等.重水堆核电站汽轮机控制系统调节阀阀门卡涩故障原因分析与处理措施[J].流体测量与控制,2025, 6(1):24-27.

# Development of a rapid on-site identification kit for genuine and fake soy sauce

Xingyou Fang Qiurong Shao Chang'an Wang Bing Duan Chengchen Zhang Song Yu

Fast Foshan Customs Comprehensive Technology Center, Foshan, Guangdong, 528303, China

## Abstract

A specific colorimetric reaction targeting characteristic substances (ethanol and tryptophan) was established to distinguish between authentic and counterfeit brewed soy sauce. After effective decolorization of soy sauce using activated carbon, ethanol reacts with alizarin red under potassium permanganate oxidation to form a deep purple compound. In an acidic medium, tryptophan undergoes a condensation reaction with p-dimethylaniline benzaldehyde (DMAB) to produce a yellow compound. This method is simple, rapid, accurate, and reliable, making it suitable for on-site detection.

## Keywords

Fermented soy sauce (authentic soy sauce); Chemical soy sauce (fake soy sauce); Ethanol; Tryptophan; test kit

# 真假酱油现场快速鉴别试剂盒的研制

方邢有 邵秋荣 王长安 段兵 张承琛 余松

佛山海关综合技术中心, 中国 · 广东 佛山 528303

## 摘要

建立针对特征物质(乙醇、色氨酸)的特异显色反应, 鉴别真假酿造酱油。先用活性炭对酱油有效脱色后, 根据乙醇在高锰酸钾氧化下与品红反应生成深紫色化合物; 在酸性介质中, 色氨酸与对二甲氨基苯甲醛 (DMAB) 发生缩合反应生成黄色化合物来进行鉴别, 该方法简单快速、准确可靠, 易于应用于现场进行检测。

## 关键词

酿造酱油 (真酱油); 化学酱油 (假酱油); 乙醇; 色氨酸; 试剂盒

## 1 引言

近年来, 我国政府对食品安全越来越重视。来自民众的“要吃安全食品、放心食品”的呼声则更高。在所采取的保障食品安全的诸多措施中, 现场快速检测越来越受到重视。现场快速检测具有检测时间短、不存在滞后性、检测成本低等优点。食品在进入市场前先进行快速检测筛查, 对筛查显示阳性的产品可送至实验室进行确证实验, 采取此快速筛查检测方法也是与国际接轨的主动措施。所以需要快速检测行为来适应社会发展的需要。

国家已经制定了相应的国家标准, 对酱油的色泽、香气、滋味、体态、氨基酸态氮、可溶性无盐固形物、全氮和微生物指标进行了规定, 但在国家标准中对于酿造酱油和配制酱油仅通过该指标很难区分。目前市场上销售的酱油检测试剂盒 (中德生物公司等) 的检测项目仅限于全氮、氨基酸态氮、可溶性无盐固形物和总酸, 因此很难快速鉴别真假酿造酱油。

酱油中成分为很多种物质, 香气成分物质就有醇、酚、醛酮、酸、酯、杂环类等 6 大类 50 多种。其中以醇类化合

物最多, 酿造酱油都有含量较高的乙醇, 而化学酱油中都没有检出, 以植物蛋白经盐酸水解成的蛋白水解液配制的酱油中没有色氨酸, 色氨酸在蛋白质酸解过程中被全部破坏。

根据相关资料采用气相色谱 - 质谱法对酿造酱油 (李锦记锦珍生抽、味事达金标生抽王、海天金标生抽、东古一品鲜、厨邦小淘气、乐购美月鲜) 、配制酱油、化学酱油 (实验室配制) (见图 1) 进行香气成分分析。分析结果 (见图 2), 分析结果显示其中 6 种酿造酱油都有含量较高的乙醇, 而配制酱油和化学酱油中都没有检出。在发酵酱油中都含有色氨酸, 而色氨酸在蛋白质酸解过程中被全部破坏, 所以化学酱油和“四一配制酱油”中没有色氨酸。

## 2 实验

### 2.1 原理

酿造酱油在发酵过程中会产生乙醇和色氨酸等有机物质, 而化学酱油和配制酱油则没有乙醇和色氨酸, 乙醇经过高锰酸钾氧化后与碱性品红反应生成深紫色化合物; 在酸性介质中, 色氨酸与对二甲氨基苯甲醛 (DMAB) 发生缩合反应生成黄色化合物。



图1 超市购置的酿造酱油和实验室配制的化学酱油

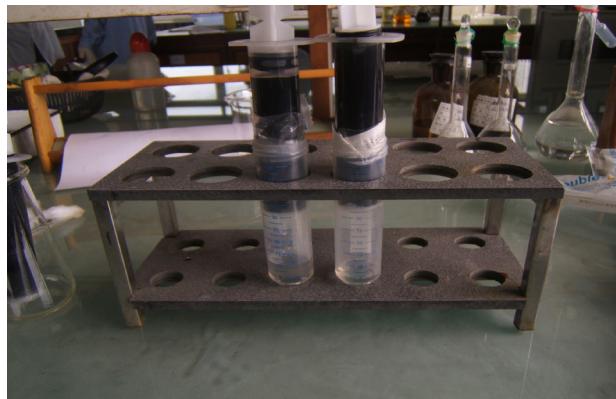


图3 深色酱油脱色效果图

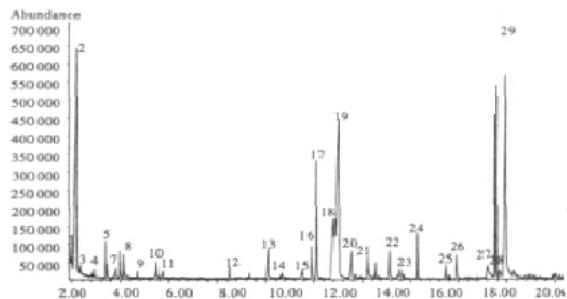


图2 酿造酱油 SCN 扫描色谱图

本文通过乙醇或色氨酸的定性检测,来判定真伪,实验方法如下:

## 2.2 试剂

检测液: 高锰酸钾—磷酸液

检测液: 草酸 - 硫酸溶液

检测液: 称取0.05g碱性品红(又称碱性紫14、鬼子红),加热溶解,加入50ml定量瓶中,然后加5ml亚硫酸钠溶液,加入1ml盐酸,定容至刻度,混匀后放置24h,得无色溶液。

检测液: 5% 对二甲氨基苯甲醛 (DMAB)

检测液: 亚硝酸钠溶液

## 2.3 酱油样品脱色处理

用50ml塑料管注射管做填充管,底部先用脱脂棉填至5ml的厚度,压实以防止后面填充的活性炭漏出,然后填充活性炭,敲动使之压实至25ml,制作完成的脱色管备用。取酱油样品约20ml加入到脱色管中,让其自然慢慢脱色。

本文课题组尝试了应用二氧化硅、聚合氯化铝、硅藻土、活性炭等做吸附脱色剂,对酱油样品进行脱色实验,二氧化硅、聚合氯化铝、硅藻土等脱色剂对酱油脱色效果均不理想。本文利用活性炭对酱油进行脱色,经多次试验,制作的脱色装置对酱油脱色效果很好,脱色后样品清澈透明(见图3),可以进行下一步的比色实验。而且,经过试验表明,活性炭对酱油中的乙醇和色氨酸没有吸附,所以,本文选择活性炭作为酱油的脱色剂。

## 2.4 样品测试

乙醇测试: 酱油经过样品脱色处理后,取5ml脱色后的样品加入小试管中,然后加1mlA检测液,5min后加B检测液1ml,摇匀,再加入C检测液2.5ml,观察其颜色变化,20min后观察其颜色变化。酿造酱油显紫色,化学酱油则完全褪色(见图4)。

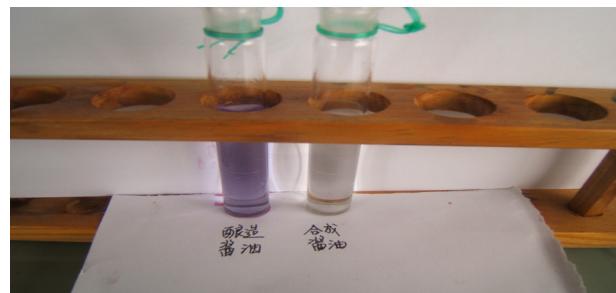


图4 酿造酱油与化学酱油乙醇检测图

色氨酸测试: 酱油经过样品脱色处理后,取5ml脱色后的样品加入小试管中,加入2.5mlD检测液,20min后加入2滴E检测液,溶液呈淡黄色的即为酿造酱油,否则为假酱油(见图5)。

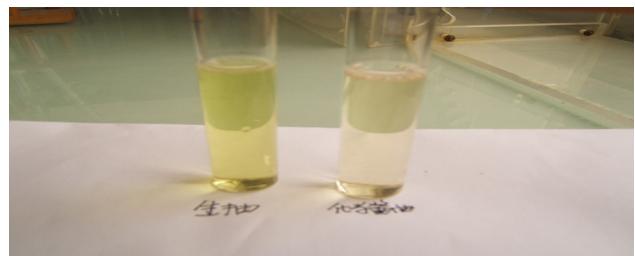


图5 酿造酱油与化学酱油色氨酸检测图

## 3 结果与讨论

### 3.1 酿造酱油特定成分的选择

我们国家已经制定了相应的国家标准,对酱油的色泽、香气、滋味、体态、氨基酸态氮、可溶性无盐固体物、全氮和微生物指标进行了规定,但在国家标准中对于酿造酱油

和配制酱油仅通过该指标很难区分。颜勇等分析了国家标准提出利用氨基酸态氮与全氮比值来区分酿造，配制和化学酱油，氨基酸态氮与全氮比值在0.50--0.57范围内，为酿造酱油，氨基酸态氮与全氮比值在0.57--0.64范围内为配制酱油，氨基酸态氮与全氮比值在0.64--0.79范围内，为化学酱油。而张瑾等研究发现，由于焦糖的全氮含量较高，氨基酸态氮含量较少，如果添加大量焦糖，酱油的全氮也就会增长的较多，这样就使氨基酸态氮变化比较小。这使得颜勇等人的鉴别方法不能很好的鉴别真假酿造酱油。还有鉴别方法根据酱油中氯丙醇或乙酰丙酸有无来鉴别为配制酱油还是酿造酱油。对于氯丙醇的测定主要是利用色谱学方法，对于乙酰丙酸测定主要有化学显色、纸色谱和气相色谱方法，化学显色方法需要把乙酰丙酸经过萃取浓缩，再与香草醛、硫酸显色，操作繁琐，很难在现场快速实施。纸色谱和气相色谱方法也只能在实验室进行，不能现场快速检测。

本课题采用气质联用技术筛选出酿造酱油中都有的乙醇和色氨酸，针对乙醇和色氨酸的特异显色反应，优化检测体系，构建稳定快速检测试剂盒。

### 3.2 脱色剂的选择

本课题组尝试了应用漂泊土、脱色砂、二氧化硅、硅藻土、沸石、活性炭等做吸附脱色剂，对酱油样品进行脱色实验。二氧化硅脱色剂具有物理吸附作用强、化学稳定性等优点，但对水溶性色素吸附效果差，对酱油脱色效果差。漂泊土絮凝沉降能力较弱、对酱油脱色效果弱，而且价格高。硅藻土脱色效果依赖其多孔结构，对某些复杂色素或高粘度液体（如酱油）的吸附能力有限，对酱油脱色效果不理想。活性炭是一种内部孔隙结构发达、比表面积大、吸附性能强，有比较好的吸附作用，是一种优良的吸附剂，价格便宜，是对酱油进行脱色的最好选择。本课题组利用活性炭对酱油进行脱色，经多次试验，制作的脱色装置对酱油脱色效果很好，脱色后样品清澈透明，可以进行下一步的比色实验。脱色装置制作简单，价格便宜，可以现场操作简单快速。而且，经过试验表明，活性炭对酱油中的乙醇和色氨酸没有吸附，所以本课题组选择活性炭作为酱油的脱色剂。

### 3.3 验证试验

根据相关文献报道课题组配制了三种化学酱油：酱色、食盐、味精和水四种配制的一号化学酱油；色、食盐、味精、水、酱油助香剂、增稠剂、高效防腐剂调配的二号化学酱油；酱色、普通食用盐、水和蛋白水解液配制的三号化学酱油。

以上述三种化学酱油和六种酿造酱油组成盲样，请课题组其他不知道盲样结果的同志用本方法进行定性试验，结果如下表1：

上述验证实验结果与真实结果完全一致，没有出现假

阳性和假阴性的结果，表明本方法准确可靠。

表1 酿造酱油与化学酱油的鉴别验证试验

编号	乙醇检测	色氨酸检测	实验结果	真实结果
1	紫色	淡黄色	酿造酱油	李锦记锦珍生抽
2	紫色	淡黄色	酿造酱油	味事达金标生抽王
3	不显色	不显色	化学酱油	二号化学酱油
4	紫色	淡黄色	酿造酱油	海天金标生抽
5	不显色	不显色	化学酱油	三号化学酱油
6	紫色	淡黄色	酿造酱油	东古一品鲜
7	紫色	淡黄色	酿造酱油	厨邦小淘气
8	不显色	不显色	化学酱油	一号化学酱油
9	紫色	淡黄色	酿造酱油	乐购美月鲜

### 3.4 试剂盒的保存时间试验

制作一批试剂盒分别按两组保存条件保存：第一组是塑料瓶中、避光、室温下保存，第二组是塑料瓶中、避光、冰箱中4℃保存。两组测试的时间间隔为第7天，第28天，第56天，第90天、以后每隔3个月做一次。实验表明，试剂盒在室温下保质期为12个月，冰箱中4℃保质期12月以上。所以试剂盒试剂保存简单，稳定可靠。

### 3.5 问题讨论

本试剂盒还不能鉴别利用酿造酱油和化学酱油混合勾兑的配制酱油，因为市场上不同品牌产品所含乙醇和色氨酸含量不同，所以不能根据乙醇和色氨酸含量少就认定为化学酱油。如果是其它的化学酱油，本试剂盒就能现场快速鉴定。

## 4 结语

本试剂盒研制完成后，请了三家检测机构鉴定，鉴定意见认为本课题用液质连用技术筛选酿造酱油中特有成分，针对这些特有成分的特异显色反应，优化检测体系，构建了快速检测试剂盒，国内未见报道。本试剂盒操作方便、可现场快速定性检测，对现场进行酱油打假很有帮助。

### 参考文献

- [1] THOMAS R, ANT JE P, HERBERT S, et al. The chemistry of side reactions and byproduct formation in the system NMMO / cellulose (Lyocell process) [J]. Prog Polym Sci 2001, 26: 1763-1837.
- [2] 王林祥, 刘杨岷, 王建新. 酱油风味成分的分离鉴定 [J]. 中国调味品, 2005, 1: 45-48
- [3] LEE SM, SEO B C, KIM Youngsuk. Volatile compounds in fermented and acid-hydrolyzed soy sauce [J]. J Food Sci 2006, 71(3): 146-156
- [4] 冯笑军, 吴惠勤, 黄晓兰, 等. 气相色谱-质谱对天然酿造酱油与配制酱油香气成分的分析比较 [J]. 分析测试学报, 2009, 28(6): 661-665
- [5] Wanakhachornkrai P, Lertsiri S. Comparison of determination method for volatile compounds in Thai soy sauce [J]. Food Chemistry, 2003(83): 619-629

# Analysis of ASTERIX data format defects and thoughts on China's independent monitoring data format

Bin Long Wenjuan Hu Xiaoyue Jiang

Chongqing Air Traffic Control Branch, Civil Aviation Administration of China, Chongqing 401120, China

## Abstract

This paper conducts an in-depth analysis of the ASTERIX protocol, revealing its significant shortcomings in modern air traffic control environments. It systematically examines issues such as the lack of unified standards for data structures, unreasonable design, and complex decoding, and proposes improvement suggestions for the ASTERIX protocol. Based on a thorough analysis of the ASTERIX protocol's flaws, this paper further proposes the direction for constructing China's independent air traffic control data format, aiming to provide theoretical references and technical support for developing more efficient and standardized domestic air traffic control monitoring data exchange standards.

## Keywords

ASTERIX; data format; defect; analysis; air traffic control; monitoring; autonomous.

# ASTERIX 数据格式缺陷分析及中国自主监视数据格式的思考

龙滨 胡文娟 江晓玥

民航重庆空管分局，中国·重庆 401120

## 摘要

本文针对ASTERIX协议进行了深入分析，揭示了该协议在现代空管环境中存在的显著缺陷，系统性地剖析了该协议在数据结构缺乏统一标准、设计不合理、解码复杂等问题，并提出了ASTERIX协议改进建议。在深入分析ASTERIX协议缺陷的基础上，本文进一步提出了构建中国自主空管数据格式的思考方向，旨在为发展更加高效、规范的国产空管监视数据交换标准提供理论参考和技术支撑。

## 关键词

ASTERIX; 数据格式; 缺陷; 分析; 空管; 监视; 自主

## 1 引言

ASTERIX 协议，也称通用结构化欧控监视信息交换协议，为欧控组织所开发，在空管监视数据中广泛使用。笔者在实现 ASTERIX 数据格式的通用解码算法过程中，积累了丰富的解码经验。然而在实际解码过程中，发现 ASTERIX 在数据设计和使用方面上存在诸多问题，这些问题在一定程度上影响了其在现代空管环境中的性能表现。

ASTERIX 数据格式于 1986 年正式发布，至今已有 39 年的历史。该数据格式在当时是非常先进，一是最大限度地减少传输数据量，在当时数据传输率受限的情况下，通过精心设计，合理利用每个字节甚至每个位的信息，实现数据的紧凑编码；二是在设计上考虑了前向兼容和后向兼容能力，

FSPEC 的设计使得其数据结构可以不断扩展，为系统的升级和扩展提供了便利。

该协议在现今环境下，却呈现出两个明显的缺陷：一是数据解码处理开销大，由于其数据结构复杂，解码过程需要消耗较多计算资源并产生延迟，这对于实时性要求较高的空管系统，无疑造成了性能瓶颈；二是数据格式不统一，不同的 CAT 工作组在定义数据格式时较为随意，缺乏统一的标准和规范，导致不同类型数据之间的格式差异较大，增加了解码的复杂性和难度，通常解码人员需要为每个 CAT 类设计一套解码算法。

本文将从欧控文档定义到解码角度，对 ASTERIX 数据格式展开详细分析，深入挖掘出其存在的缺陷与改进方向，并在此基础上，提出关于构建中国自主空管数据格式的思考。

**【作者简介】**龙滨（1976-），男，中国重庆人，硕士，高级工程师，从事空中交通管理通信、导航、监视研究。

## 2 ASTERIX 数据格式的缺陷分析

数据格式总体结构设计不合理：在《欧控规范监视数据交换 - 第 1 部分》（2.2 版以上），对数据块（data block）的定义如下：

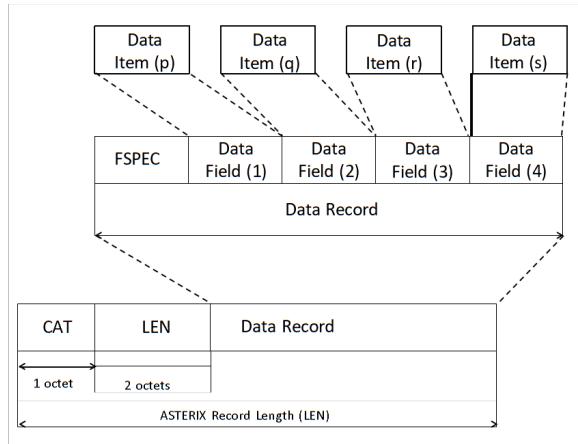


图 1 ASTERIX 数据总体结构

从层级结构上来看，其数据分为三个大类：类别（CAT）、数据长度（LEN）和数据记录（Data Record）。其中，数据记录又细分为字段说明（FSPEC）和多个数据字段（Data field），而每个数据字段对应每个数据项（Data Item）。在每个 CAT 数据文档中，用户应用配置（UAP）对每一个数据项进行了定义，其中包括保留扩展字段（REF）和保留特定用途（SP）字段。值得注意的是，保留扩展字段的定义同普通 DATA ITEM 的定义存在较大差异，且是单独成文的。故笔者认为 ASTERIX 数据格式总体结构存在的问题如下：①概念划分过于繁杂。将数据记录、数据字段和数据项分成三个不同的概念，一在一定程度上增加了理解和使用难度。笔者更建议只需要用数据项的概念，其中的 CAT、LEN、FSPEC、DATA ITEM 均可看做数据项。②树形对象结构未充分体现。ASTERIX 格式中实际上存在树形对象结构的概念，其 1+1+ 类型用于将数据扩展到下一层级。然而，在总体结构图中，这一重要的结构特征并未得到体现，使得整个数据结构的完整性和直观性受到一定影响。③ REF 定义必要性存疑。REF 的设计初衷是为给定的类别进行中间变更提供一种机制，但在实际应用场景中，其必要性并不显著，完全可以在新增类别时，通过在常规数据项上直接新增数据项的方式实现类似的功能。

数据分类不清晰：在《欧控规范监视数据交换 - 第 1 部分》，对数据项结构有几种定义：①固定长度数据项（Fixed Length Data Items）②扩展长度数据项（Extended Length Data Items）③显式长度数据项（Explicit Length Data Items）④重复数据项（Repetitive Data Items）⑤组合数据项（Compound Data Items）。以 cat048 为例，在其 UAP 文档中（如表 1 所示），数据项结构既有固定长度（比如 2、3

等形式，又存在 1+、1+8\*n 以及 1+1+ 类型等特殊形式。这种多样的定义方式本应是为了更灵活地满足各种应用场景的需求，但实际情况却并非如此。

FRN	Data Item	Data Item Description	Length in Octets
1	I048/010	Data Source Identifier	2
2	I048/140	Time-of-Day	3
3	I048/020	Type and Properties of the Target Report and Target Capabilities	1+
4	I048/040	Measured Position in Slant Polar Coordinates	4
5	I048/070	Mode-3/A Code in Octal Representation	2
6	I048/090	Flight Level in Binary Representation	2
7	I048/130	Radar Plot Characteristics	1+1+
FX	n.a.	Field Extension Indicator	n.a.
8	I048/220	Aircraft Address	3
9	I048/240	Aircraft Identification	6
10	I048/250	Mode S MB Data	1+8*n

表 1 CAT048 UAP 部分数据项定义

问题 1：什么是 1+ 类型、和 1+1+ 类型？

在欧控文档的第一部分并未对这些特殊类型详细说明，这就导致后续 CAT 工作组在使用过程中缺乏明确的指导，产生大量不规范使用的案例。例如，从实际应用分析，“1+”类型应该是按照单个字节进行 FX 扩展，那“1+1+”类型又是什么？以上图的 Radar Plot Characteristics 的数据格式分析，发现它类似 FSPEC 的字段定义，而在 cat048 中的 Aircraft Identification & Characteristics 1 存在将“1+1+”误用为“1+”的情况。这种误用情况屡屡出现，暴露出不同 CAT 工作组对这两种类型的区分并不清晰，严重影响了数据的一致性。

问题 2：1+1+ 类型下层的数据在 UAP 中是没有定义的，这是为什么？

通常情况下，不同层级的数据应该具有相对平等的地位，并且都有明确的类型和长度等信息。然而，在这里只有最上层的 FSPEC 指定的数据项有类型，“1+1+”再往下层的字段却没有数据项编号和长度信息，这给数据的解码和结构理解带来了极大的困难。

问题 3：那有 1+1+ 类型，是不是也就应该有 1+1+1+ 类型，甚至更深层次？

在文档中对此并未给出任何说明。虽然从理论上讲，有“1+1+”下一层的设计，就应该具备扩展到更多层设计的可能性，但由于缺乏明确规定，使得笔者在进行数据设计和处理时感到困惑。另外，“1+1+”中的这两个 1 到底是代表什么。遗憾的是，官方也未给出说明。

问题 4：1+ 还代表重复？

“1+”在实际应用中，有两种用法。例如在 CAT001 的 Target Report Descriptor 中，共定义了 2 个字节的数据格式，每个字节有不同的数据格式；而在 CAT048 的 Warning/Error Conditions 字段，只定义了 1 个字节，且每个字节低位为 FX，推测应该是这个字节只要 FX 不为 0，就可以不断循环。这里的问题在于，如果“1+”代表重复用途，那这种数据格式不就是《欧控规范监视数据交换 - 第 1 部分》规

定的重复数据项吗？如果是重复数据项，是否采用“1+1\*n”的数据格式可能会更加合理一些？尽管会增加了一个字节，但却能提高数据的可读性，提升规范性。

问题 5：有没有 2+、3+ 之类的数据项？

在 CAT008 中的 process status 项定义中出现了“3+”类型的数据项（如图 2），同“1+”类型一样，其定义是否合理值得商榷。从提高可读性的角度出发，将其设计为“1+3\*n”似乎更为合理，这样不仅保留了原有的功能，还能让数据的结构和含义更加清晰明了。

Octet no. 1								
24	23	22	21	20	19	18	17	
f					R			
Octet no. 2								
16	15	14	13	12	11	10	9	8
Q								FX
Octet no. 3								
7	6	5	4	3	2	1		

图 2 CAT008 的 process status 项定义

问题 6：有 1+ 和 2+ 的定义，那有没有不规则定义的数据项？

除了上述常见的几种类型外，还存在不规则定义的数据项。例如，在 CAT048 的保留扩展字段中（如图 3 所示），SGV 定义的第一个字段是 2 个字节，而扩展的第二个字段是 1 个字节。这种情况下，为什么不采用“2+”类型来定义，而要创造一种新的数据类型呢？这不仅增加了数据理解和处理的难度，也破坏了整个数据格式体系的一致性。

Octet no. 1									Octet no. 2								
16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
STP	HTS	HTT	HRD	GSS									LSB	FX			
Octet no. 3																	
8	7	6	5	4	3	2	1										
HGT									LSB								

图 3 CAT048 保留扩展字段 SGV 定义

问题 7：重复数据项的 rep 字节数等于 1，能否大于 1？

从已知的资料上来看，尚未发现有这种情况，但从解码角度考虑，最好还是考虑 rep 字节数大于 1 的情况。

问题 8：保留扩展字段有 FSPEC 定义吗？

以 CAT048 和 CAT021 的保留扩展字段为例（如图 4、图 5 所示），它们的 FSPEC 定义存在问题。在这些例子中，FSPEC 的最后 1 位不是 FX，而是占满了。这与 CAT 类的 FSPEC 数据定义保留不一致，使得数据的扩展性受到限制。笔者更建议在保留扩展字段保留 FX 的使用，使得与 FSPEC 的用法保持一致，更方便用户对数据的理解和解码处理。

Octet no. 1								
8	7	6	5	4	3	2	1	
MD5	M5N	M4E	RPC	ERR	RTC	CPC	GEN48	

图 4 CAT048 保留扩展字段定义

Octet no. 1								
8	7	6	5	4	3	2	1	
BPS	SeIH	NAV	GAO	SGV	STA	TNH	MES	

图 5 CAT021 保留扩展字段定义

问题 9：保留扩展字段的长度为什么不是 2 个字节？

所有的保留扩展字段的 LEN 都只有 1 个字节，这意味着其最大长度只能达到 255 个字节。相比之下，CAT 类的 LEN 占 2 字节，共有 65535 字节，可以传输更长的数据。这种差异导致了保留扩展字段的扩展能力受到了极大的限制，无法满足一些数据量需要较大的场景使用。此外，从一致性考虑，LEN 的设计上也应该同 FSPEC 保持一致，以便使用人员能够更加方便地进行数据处理。

综上所述，ASTERIX 数据格式由于缺乏统一的定义标准，各 CAT 工作组在使用过程中表现出较大的随意性，这种随意性导致了诸如“1+”和“1+1+”等类型的混淆、数据层级结构的不合理、特殊数据项使用不规范以及保留扩展字段标准不一致等一系列问题。从各类数据格式的设计初衷来看，ASTERIX 工作组似乎过于注重极致减少数据包的大小，而在规范化和可读性方面的考虑严重不足。

关于字节反转问题。在 ASTERIX 数据的解码实践中，笔者发现在接收数据时，需要对数据进行反转操作。需要进行字节反转的主要原因是：

数据项定义与内存存储的方向差异，在 ASTERIX 数据项定义中，数据包是按 CAT、LEN、FSPEC、各数据项按从低到高的顺序排列，并且每个数据项第一个字节（Octet no. 1）处于高字节位置，最后一个字节（Octet no. n）总是处于低字节位置。而在最终端处理数据时，数据在内存中的存储方向却正好相反（见图 2）。在内存存储中，字节从低位到高位分别为 CAT、LEN、FSPEC 和各数据项，而在每个数据项中，标识 Octet no. n 的第一个字节却是在低字节，最后一个字节却是在高字节。一种简单的记忆方法是：靠近 CAT 字节的数据项字节在内存中是低字节。这种 ASTERIX 数据项定义与实际存储的差异，导致在多字节情况下，必须进行字节反转操作才能保证数据的一致性。例如，对于单字节的数据项，由于不存在字节顺序的问题，所以不需要反转；对于 FSPEC 和“1+”类型，由于其存储方式是按单个字节顺序逐个储存的，在计算机内存中也是按从低位到高位排列的，是不需要进行字节反转处理的；但对于多字节的情况，如某些特定字段，就需要严格按照规则进行反转，以图 6 为

例, 由于其数据定义的高字节 (SAC) 内存存储是低字节 (更靠近 CAT), 数据定义的低字节 (SIC) 是内存存储是高字节 (远离 CAT), 因此, 需进行字节反转才能保证数据定义和内存存储字节顺序的一致性。

Octet no. 1								Octet no. 2							
16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
SAC = 00								SIC							

图 6 CAT001 SIC/SAC 字段

大小端模式的历史演变与冲突。在 ASTERIX 格式文档设计之初, 当时的计算机主流采用大端模式, 在这种模式下, 数据的高字节存储在低地址, 低字节存储在高地址, 这与 ASTERIX 数据项定义中的字节顺序相匹配。然而, 随着技术的发展, 现代的计算机主流 CPU, 如 AMD64、ARM、POWER PC 等, 默认采用小端模式或者支持大小端反转。小端模式与大端模式相反, 数据的低字节存储在低地址, 高字节存储在高地址, 这种历史的演变导致了 ASTERIX 早期的大小端设计与现代计算系统需求之间的矛盾, 从而引发了字节反转问题。为了适应现代计算机系统, 在处理多字节的数据项时, 不得不进行额外的反转操作, 这无疑增加了资源的消耗。

大小端问题引出其他的问题, 主要有以下几种情况: (1) 以图 6 所示的 CAT001 SIC/SAC 字段为例, 当对类似固定长度字段内的整个数据项进行反转 (称为大反转) 时, 会出现一些问题。比如在处理  $1+a*n$  (此处  $a=2$ ) 数据项的情况 (如图 7 所示), REP 靠近 cat 字节, 因此存储在低位, 解码时可直接获取。但经过大反转后, REP 变到最高位, 这就需要取该字段总长度的最后一个字节, 增加了计算的复杂性。在实际解码中, 这种方式并不方便, 降低了解码效率。

Octet no. 1								Octet no. 2								Octet no. 3																			
24	23	22	21	20	19	18	17	REP = N												DRHO															
LSB												DTHETA												LSB											

图 7 CAT010 的 PRESENCE 数据项

相比之下, 不进行大反转, 而是对每个重复的单个数

据进行小反转是一种更优的选择。以 PRESENCE 数据为例, 这样处理后, PRESENCE 高低位的存储就和定义一致了, 而且每个重复项的排列顺序也与定义相符。对于  $a+1$  重复类型 ( $a>1$ ) 的情况, 同样适合采用这种方式。由于重复顺序是从低到高的, 整体反转会破坏这种顺序, 而单独对每个重复数据进行小反转则能保留原有的排列顺序, 使解码过程更加顺畅。可见, 由于 ASTERIX 定义时采用大端序, 计算机内存存储采用小端序, 这一根本差异导致数据解码变得更加复杂。无论是大反转还是小反转, 都需要额外的处理逻辑, 增加了代码的复杂度和出错的可能性。同时, 这些反转操作也会占用一定的计算资源, 降低数据处理的速度, 尤其在处理大量数据时, 这种影响会更加明显。

### 3 ASTERIX 数据格式的改进建议

由于 ASTERIX 数据在实际应用中暴露出的问题, 比如大小端问题、保留扩展字段设计不合理等, 由于历史原因和延续前后向兼容, 对 ASTERIX 数据格式进行根本性改变已基本不可能, 但对现有各种数据格式的重新定义和规范却十分必要, 笔者强烈建议 ASTERIX 工作组进行如下修改:

#### 3.1 数据项结构的重新定义

统一数据包基本组成为数据项: 摒弃原有的五种数据项结构, 将所有的数据包元素都作为数据项, 建议分成五中数据项: CAT 数据项、显式长度数据项 (双字节用于数据包, 单字节用于保留扩展字段)、FSPEC 数据项以及基本数据项。

FSPEC 数据项的分类: 将 FSPEC 分为可变长度 FSPEC (即现有的 FSPEC, 可记作 FSPEC+) 和固定长度 FSPEC (保留扩展字段中的 FSPEC, 无 FX 扩展位)。

基本数据项的细分 (1) 固定长度数据项 (2)  $a+$  类型数据项, 可以适配现有的 1+, 3+ 之类的数据, 增强数据类型的通用性。 (3)  $a+b*n$  重复类型数据项: 若  $a$  只能为 1, 则固定为  $1+b*n$  类型, 使重复数据的表示更加清晰。 (4)  $x+$  类型数据项: 对于类似 CAT048 的保留扩展字段 SGV 的类型, 解码时可采用 [2,1] 之类的数组处理。但鉴于其应用范围较窄, 更建议将该字段改为 2+ 类型, 以避免新增不必要的数据类型。

#### 3.2 定义数据块的层级结构

将《欧控规范监视数据交换 - 第 1 部分》数据块框图调整为层级结构。

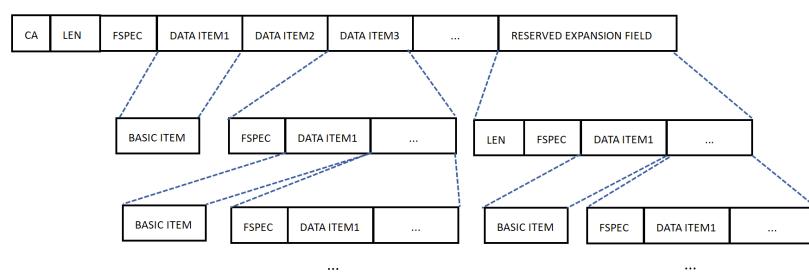


图 8 ASTERIX 层级示意图

**重新审核数据项定义问题：**对于 a+ 类型中存在的特殊情况，如 Warning/Error Conditions 的 1+ 和 process status 的 3+ 重复字段，建议改用 1+b\*n 类型，以提高数据的可读性，使其更符合重复类型数据的特点。

**深层次数据项的规范：**在 UAP 中明确规定深层次数据，并为每个深层次数据提供详细的数据项名称 (data item) 和长度 (Length)。对于现有的 1+1+ 类型，统一改为 FSPEC+ 或其他合适的命名方式，确保数据格式的一致性和规范性。

**明确重复项的 REP 字节数：**进一步明确重复项的 REP 字节数是否等于 1，避免因不明确的规则导致数据处理的混乱。

总体而言，笔者希望 ASTERIX 工作组应摒弃单纯追求最小化数据长度的思路，更多地从可读性和便于解码的角度出发，规范现有数据类型，避免随意创造新的数据类型。

## 4 中国自主监视数据格式的思考

**开发自主格式的必要性：**ASTERIX 设计初衷主要针对空管等监视源，且在一定程度上考虑了北约军事用途的需求，如 SIC 码和 SAC 码主要用于区分雷达数据的来源，目前已接近分配殆尽，未充分考虑其他国家的需求。此外，ASTERIX 本身存在一些设计缺陷，因此我国有必要自主开发一套适合现代监视需求的数据格式。

**自主格式设计建议：**①增加魔数字节：通过增加魔数字节，可有效避免对其他数据的解析误判，提高数据识别的准确性。②扩大数据格式类别范围：将数据格式类别扩大到 2 个字节，以满足日益增长的分类需求。目前 ASTERIX 数据 CAT 分类目前已达 200 多种，后续扩展空间有限，而 2 个字节可提供 65535 种定义，足以应对未来一段时间的需求。③提升数据长度上限：将数据长度提升至 4 个字节，为未来可能出现的大数据量传输做好准备，确保其可扩展性。④增加格式类别版本号：引入版本号机制，方便用户根据不同的版本采用对应的解码方法，提高灵活性和兼容性。⑤采用小端方式定义数据：遵循现有计算机的数据存储方式，采用小端方式进行数据定义，避免字节反转处理，降低处理延迟。⑥明确数据类型规定：制定明确的数据类型标准，防止出现

类型模糊不清的情况，杜绝不同工作组随意新增不规范的数据格式，保证数据格式的稳定性和一致性。⑦处理同名数据项问题：当不同 CAT 类型存在同名数据项时，尽量保证这些同名数据具有相同的数据结构和处理方式，简化数据处理逻辑，减少错误的发生。⑧统一空间存储层级定义：实现各层级数据类型定义的空间存储统一，使用户能够直接通过数据包头判定某个数据字段是否存在，无需进行多层解码才能判别，显著提升解码效率。⑨探索基于对象的序列化方式：考虑采用基于对象方式进行序列化，比如可参考 FlatBuffers 的序列化方式，通过定义 IDL 并对对象数据进行序列化处理，使得可实现快速解码甚至无需解码，可充分满足实时性要求较高的应用场景。⑩具备加密能力：在安全度要求较高的领域，可以选择加密算法对数据包进行加密。

## 5 结语

本文详细分析了 ASTERIX 数据格式的缺陷，指出未统一数据格式规范导致数据格式定义随意问题和设计使用不合理的问题，并针对这些缺陷对 ASTERIX 工作组提出了改进建议。由于 ASTERIX 存在一些固有缺陷无法修改，笔者提出中国自主监视数据格式的思考建议，为我国空管监视数据格式的规范发展提供了方向。

## 参考文献

- [1] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange - Part 1 - All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (V3.1).
- [2] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 3 Category 008 Monoradar Derived Weather Information(V1.3)
- [3] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 12 Category 21-A: Reserved Expansion Field(v1.5).
- [4] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange - ASTERIX Part 4 - Category 048: Monoradar Target Reports(v1.32).
- [5] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange - ASTERIX Part 4 Appendix A Category 048: Monoradar Target Reports - REF(V1.13).

# Research on the Measures of Atmospheric Environmental Protection from the Perspective of Ecological Civilization

Peng Wei

Jiangxi Luli Engineering Consulting Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330086, China

## Abstract

With the rapid advancement of urbanization, air pollution has become a pressing issue that severely hinders the progress of ecological civilization and sustainable development. From the perspective of ecological civilization, relevant authorities should prioritize effective air quality protection measures, optimize industrial structures, promote clean energy development, and strengthen environmental governance. These efforts will improve air quality, achieve ecological civilization goals, and foster sustainable societal development. This study explores the intrinsic connection between ecological civilization and air pollution control, analyzes the importance of environmental protection, and proposes actionable measures for stakeholders.

## Keywords

ecological civilization; atmospheric environment; protective measures

# 生态文明视域下的大气环境保护措施研究

魏朋

江西绿利工程咨询有限公司, 中国 · 江西南昌 330086

## 摘要

随着城市化建设进程不断加快, 大气污染问题日益凸显, 严重制约了生态文明建设和人类社会的可持续性发展。因此, 在生态文明视域下, 相关部门应当重视大气环境保护工作的有效推进, 优化产业结构, 推进清洁能源发展, 加强环境管理建设, 从而改善大气环境质量, 实现生态文明建设的目标, 促进社会的可持续性发展。鉴于此, 开展本文的研究工作, 主要探究生态文明与大气环境保护的内在关联, 分析大气环境保护的重要性, 并提出几点有效措施, 以供相关人员参考。

## 关键词

生态文明; 大气环境; 保护措施

## 1 引言

生态文明是一种新型观念, 强调人与自然和谐共生关系。生态文明建设需要相关部门积极推动, 也需要全社会的广泛参与和共同努力。基于此, 开展大气环境保护工作, 能够有效推动大气污染治理进程, 实现产业的绿色升级。在具体的保护工作中, 推动产业优化布局, 发展清洁能源, 加强生态工程的建设, 缓解大气污染, 可以构建更加健康的生态系统, 促进社会的可持续性发展。

## 2 生态文明与大气环境保护的内在关联

大气环境保护与生态文明之间有着十分密切的关联。生态文明追求人与自然和谐共生, 强调生态系统的健康和稳定发展, 而大气环境是生态系统的重要组成部分, 直接影响人类的可持续性发展。首先, 大气环境保护是生态文明建设

的重要组成部分。生态文明以人与自然和谐共生为核心, 强调在尊重自然、顺应自然、保护自然的基础上, 实现经济社会发展与生态环境保护的协调统一。其中, 开展大气环境保护工作, 减少大气污染物的排放, 可以有效改善空气质量, 维护生态系统的健康稳定。因此大气环境保护既是生态, 文明建设的重要指标, 也是检验生态文明建设成效的核心指标。其次, 生态文明理念对大气环境保护具有一定的指导作用。生态文明理念要求大气环境保护从被动应对转向主动防控, 从局部治理转向系统协同, 通过推动清洁能源发展, 加强节能减排技术的创新, 从而促进经济的绿色低碳转型<sup>[1]</sup>。可以培养更加良好的社会环保氛围, 推动大气环境保护的可持续性发展。

## 3 生态文明视域下的大气环境保护的重要性

在生态文明视域下开展大气环境保护工作, 可以维护生态系统平衡。生态文明强调生态系统的整体性和完整性, 大气环境是生态系统物质循环能量流动的核心载体。大气污染会破坏植被、土壤、水体等生态要素, 引发酸雨和温室效

**【作者简介】**魏朋 (1992-) , 男, 中国江西南昌人, 本科, 工程师, 从事生态文明视域下的大气环境保护措施研究。

应等连锁反应。而通过开展恰当的保护措施,可以减少污染物排放。提升生态自净能力,有效遏制生态系统的退化趋势,而且也能更好地保护生物多样性,促进生态平衡,构建多要素联动的生态安全格局,为生态文明建设筑牢根基。其次,对经济发展也有一定的价值。严格的大气环境标准,倒逼企业淘汰落后产能,推动技术创新,向资源节约、环境友好的方向发展,从而催生了绿色工厂、循环经济等新业态,为经济注入了新的活力<sup>[2]</sup>。而且大气治理的巨大需求,培养了新能源、节能环保等新的经济增长点,驱动经济发展从规模速度型向质量效益型转变为可持续性发展,注入持久动力。

## 4 生态文明视域下的大气环境保护措施

### 4.1 优化产业结构, 推动产业绿色转型

在生态文明视域下开展大气环境保护工作,可以从产业方面入手,优化产业结构,实现绿色转型,可以更好地应对大气环境污染问题。首先,严格控制高耗能和高污染产业扩张。高耗能高污染行业是大气污染物排放的主要来源,因此要采用严控增量,优化存量的策略,严格产业准入门槛,制定负面清单,对需要建设的项目实行产能置换与能耗、环保双重约束<sup>[3]</sup>。推动落后产能淘汰,依法关停不符合环保能耗标准的小化工、小钢铁等企业。其次,推动重点行业的超低排放改造。主要聚焦钢铁、火电、水泥、石化等重点行业,实行全流程、全方位的超低排放改造,可以有效降低废气排放中的污染物含量。例如钢铁行业推进烧结、球团、炼铁等

工序进行超低排放改造。可以提高生产效率的同时,降低污染物的排放量。第三,发展绿色低碳产业。加大对节能环保、清洁能源、生态修复等产业的扶持力度,设立绿色产业发展基金,对环保技术研发企业给予税收减免和财政补贴。推动循环经济产业发展,确保工业固废综合利用,实现再生资源回收利用,减少污染物的产生。第四,优化空间布局。通过进一步优化产业空间布局,解决传统布局中的不合理问题,从而促进区域协调发展。要推动重点产业向园区聚集,建设循环化改造示范园区,实现资源共享和污染物的集中治理。推动城市群产业协同发展,避免同质化竞争和重复建设。

### 4.2 推进清洁能源发展与节能减排技术创新

为了更好地保护大气环境,推动生态文明建设的进程,还需要关注清洁能源的发展和节能减排技术的创新。首先,推动清洁能源发展,清洁能源包括太阳能、风能等可再生能源,使用的过程中几乎不会排放污染物。因此地方政府应当高度重视,加大对清洁能源开发利用的支持。实现有效推广,提高各企业的重视程度,也能够积极应用清洁能源代替传统能源,逐步淘汰高污染高排放的传统能源。其次,实现节能减排技术的创新。在生态文明视域下,鼓励和支持各行业创新节能减排技术,并在实际生产发展中得到广泛应用。一是要优化工艺流程,采用先进的生产技术和装备,减少生产过程中污染物的产生。二是加强资源循环利用,推动工业废水循环,利用余热余压回收利用,提高资源的利用率。三是建立清洁生产审核制度。强制要求重点行业企业开展清洁生产审核,制定节能减排方案,并落实整改。

表 1 节能减排技术的类型、目标和应用场景

节能减排技术	核心目标	应用场景
1. 钢铁 / 火电超低排放改造 (脱硫脱硝除尘) 2. 石化 VOCs 治理 (LDAR + 吸附催化) 3. 碳捕集利用与封存 (CCUS) 4. 工业余热余压回收	工业领域: 减少重点污染物排放 (SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、VOCs), 降低单位能耗	钢铁、火电、石化等重点行业
1. 绿色建材应用 2. 建筑节能改造 (保温 + 光伏建筑一体化)	建筑领域: 降低建筑能耗, 减少供暖 / 制冷碳排放	新建绿色建筑、老旧小区改造
1. 新能源汽车 (纯电 + 混动) 2. 智能交通调度系统	交通领域: 减少机动车尾气排放 (PM2.5、NO <sub>x</sub> )	城市公交、物流运输、私家车市场
1. 高效能管理系統 2. 电机 / 风机节能改造	通用领域: 提升全行业能源利用效率	工业企业、公共建筑、园区整体节能

### 4.3 强化技术支撑, 提升精准治理能力

大气环境保护工作中,通过提供技术支撑,可以实现精准治理。首先,搭建完善的智慧监测体系,为生态环境管理工作提供保障和支持。在大数据、人工智能等技术的支持下,可以采集完善的数据信息,用于评估大气环境情况,为大气预警和决策提供重要依据。一些地区自主研发问题线索挖掘算法动态捕捉企业存在的一系列问题,例如车辆超标排放治污不同步。实现从问题发现到溯源定位的全流程精准锁定。同时建立 2 小时核查、4 小时反馈的快速响应机制,推动问题线索闭环处理。发挥先进技术优势,开展完善监测工

作。将无人机巡查、卫星遥感监察和移动监测车等手段结合在一起,提高污染溯源和精准定位的能力。发挥大数据优势,整合监测数据、气象数据和企业排污数据,通过数据分析,预测污染趋势,分析相关来源,并进行应急预警。其次,加强大气污染治理核心技术的研发。聚焦现阶段大气污染治理的关键技术,加大科研投入,突破现有瓶颈,优化各项性能,从而确保治理技术的合理应用,达到良好效果。研发 VOCs 吸附催化降解技术、氮氧化物精准减排技术、臭氧前体物协同控制技术等多项技术,可以有效破解臭氧污染难题<sup>[5]</sup>。加强无组织排放控制技术的研发,并开发相关的设备,减少无

组织排放。第三，推动环保技术成果转化和推广。技术成果转化是进行具体技术支撑的关键环节。通过搭建技术转化平台，支持高校科研院所与企业共建研发中心和试验基地，促进技术成果产业化。政府部门也需要提高重视，对先进适用的环保技术，给予财政补贴、税收减免，鼓励企业使用新技术和新工艺。

#### 4.4 建立全方位、多层次的大气环境监管体系

生态文明建设视域下，需要建立全方位、多层次的大气环境监管体系，从而实现大气环境保护的目标要求。在监测体系的支持下，确保各环节相互衔接，顺利推进，确保大气环境质量得到可持续性改善。首先，建立全面的大气环境监测体系，在城市、农村、工业区、山区等不同区域设置监测站点，实现全面覆盖，实时监测大气污染物的浓度、污染源以及排放情况。建立信息共享机制，实现大气污染数据的实时共享。

其次，建立多层次的管理机制。一，大气环境保护具有一定的特殊性，因此要推动区域协同，建立联防联控机制。成立国家级大气污染联防联控领导小组，统筹协调重点区域的治理工作，并搭建信息共享平台，统一数据，实现数据互通和监管同步。还有完善区域应急联动机制，统一重污染天气预警标准和应急响应措施，发现问题及时预警，提高各部门的重视。推进跨区域执法联动，建立重点行业、重点污染源的联合监管机制，打击跨区域污染转移行为。二，建立生态文明考核评价机制。要优化考核指标，将臭氧污染控制成效、pm2.5 浓度下降率等指标纳入约束性考核中，提高生态环境指标权重。并强化结果的运用，实行一票否决制与生态环境损害责任终身追究制。建立企业环境信用评价制度，将评价结果与信贷税收等相挂钩。对环保诚信企业给予政策激励，可以提高各企业的重视程度，积极参与到环保工作中。

#### 4.5 加强生态环境工程建设

基于生态文明开展大气环境保护工作，还需要关注生态环境工程在其中的作用，进一步强化大气环境自然净化能力。生态屏障是阻挡大气污染物跨区域传输的重要防线。可以根据我国生态格局构建三北防护林、黄河流域等生态屏障。推动植树造林与森林修复，扩大森林面积，提高森林覆盖率。加强草原湿地保护与修复，加大对退化草原湿地的修复力度，提高生态系统的稳定性。做好沙化土地的治理工作，减少沙尘天气对大气环境的影响。其次，加强农业面源污染治理工作。控制秸秆焚烧推广秸秆还田和秸秆饲料化。减少化肥农药使用。推广绿色防控技术，可以有效地减少氨排放和挥发性有机物污染。加强畜禽养殖污染治理，推行畜禽粪污资源化利用，减少甲烷等污染物的排放。

### 5 结语

综上所述，生态文明建设与大气环境之间存在内在联系，通过开展大气环境保护工作，可以促进社会经济发展，维护生态安全。优化产业结构，推动产业绿色转型，提供技术支撑，发展清洁能源，推广节能减排技术，并打造多层次立体化的监管机制，落实生态环境工程。从多个方面入手，可以有效保护大气环境，推动生态文明建设的进程。

### 参考文献

- [1] 陈先和,全盈盈,蔡苏菲,等. 生态文明视域下的大气环境保护措施研究[J]. 生态与资源,2024(2):43-45.
- [2] 张馨予. 生态文明视域下的大气环境保护策略探究[J]. 皮革制作与环保科技,2021,2(9):154-155.
- [3] 林琳. 试论生态文明视域下的大气环境保护[J]. 清洗世界,2024,40(9):133-135.
- [4] 缪沫青. 倡议生态文明视域下的大气环境保护措施[J]. 黑龙江环境通报,2024,37(3):120-122.

# Research on Construction Project Management of Oilfield Surface Engineering Construction

Qingwei He

Daqing Oilfield Construction Engineering Co., Ltd., Heilongjiang, Daqing, 163000, China

## Abstract

In the current phase of social development, significant progress has been made across various industries. For oilfield surface construction project management, implementing effective construction project control measures is crucial. Construction units must clearly define the core components of project management, analyze factors affecting construction quality, ensure efficient production capacity utilization and investment returns, while also considering long-term safety production capabilities. This paper focuses on analyzing the management aspects of oilfield surface construction projects, exploring how to enhance safety management practices to comprehensively improve the overall efficiency of these projects.

## Keywords

Oilfield surface construction project; Construction project management; EPC general contracting model; Full-process control

# 油田地面建设工程的施工项目管理研究

何庆伟

大庆油田工程建设有限公司, 中国 · 黑龙江 大庆 163000

## 摘要

在当前的社会发展中, 各行业的发展水平有了明显的提升, 对于油田地面建设工程的管理而言, 做好施工项目防控工作是非常重要的。施工单位需要明确当前项目施工管理工作的基本内容, 分析影响项目建设水平的因素, 保证油田产能的释放效率和投资效益, 还要考虑油田长期的安全生产能力。本文主要针对油田地面建设工程的施工项目管理内容进行分析, 分析如何进行项目安全管理才能全面提高整个油田地面建设工程的实际效益。

## 关键词

油田地面建设工程; 施工项目管理; EPC总承包模式; 全过程管控

## 1 引言

对于油气田的开发而言, 做好油田地面建设管理是非常重要的, 整个建设工程涉及的工作内容和环节是比较的, 涵盖了从井口到外输管道之间所有的集输、处理、储运及配套设施建设, 其施工质量、进度与成本控制直接关系到油气产能的快速形成与长期稳定运行。及时引进现代化的管理理念, 合理运用各类组织模式和方法工具, 以期为推动油田地面工程建设的高质量、高效能与高效益发展提供有益借鉴。

## 2 油田地面建设工程的施工项目管理意义

### 2.1 提升油田产能与保障能源安全的关键抓手

油田开采单位做好油田地面建设工程管控工作, 能够

有效提高油田的产能, 也可以保障能源生产的安全性, 从整体的项目建设情况来看, 合理进行管控能够提高项目建设的效率和质量。高效、优质的施工项目管理能够确保地面处理厂、集输管网、注水注气系统等关键设施按期、合规建成投产, 从而快速将钻井成果转化成实际产量。这样的管理模式能够帮助油田开采单位快速抓住市场发展机遇, 也能够在短时间内完成国家产能建设的基本任务<sup>[1]</sup>。

### 2.2 控制项目全生命周期成本与保障投资效益的核心环节

油田地面建设工程的规模比较大, 投资金额也比较大, 所以在项目建设管理中, 做好成本管控工作是非常重要的。项目成本管控贯穿项目设计和采购施工的各个环节, 做好科学的项目施工管理工作, 能够保证整个项目结构的稳定性, 而且精细化的施工组织和全面性的监控也能有效避免出现后续预算超支和资源浪费的情况。建设单位推行标准化的设计模式, 这样可以减少设计变更和材料浪费的情况, 并实现预期的投资回报率, 是企业实现降本增效的关键。

**【作者简介】**何庆伟 (1990-), 男, 蒙古族, 中国黑龙江大庆人, 本科, 工程师, 从事油田地面建设工程的项目管理和施工组织等研究。

### 3 油田地面建设工程的施工项目管理中存在的问题

#### 3.1 项目管理责任体系不健全与协同机制不畅

从当前油田地面建设工程的整体项目建设情况以及项目管理工作的具体模式来看,在整个项目建设中,虽然很多单位已经逐渐意识到了管理工作的重要性,但是在实际建设的时候,依旧存在一些制约管理水平提升的因素。从整体的管理模式来看,现有的管理制度和管理体系依旧缺乏完善性,一些施工单位采用的依旧是传统的项目管理模式,在这项管理工作中设计环节,采购环节以及施工环节是分离的,这样就导致整体参与的主体比较多,在实际管理的时候需要处理的管理内容和细节比较多。在遇到问题之后,不能短时间内快速对问题进行处理,也无法完成各类责任的明确划分。

从建设单位和设计单位工作的管理模式来看,这些单位之间可能会存在信息壁垒和利益冲突的问题,在遇到问题的时候不能及时合理解决问题,这样就无法形成高效协同的管理架构。因为前期没有做好责任的明确划分,所以在后续项目管理和施工建设过程中,如果出现质量问题或者进度问题非常容易出现各方相互推诿的情况,这样无法在短时间内快速解决问题,从而导致整个问题建设和管控的周期比较长。

此外,从项目内部管理工作的情况来看,责任划分也存在不清晰的情况,因为决策的链条相对比较冗长,这样就影响了现场问题的响应速度和实际的解决效能。这种条块分割的管理现状,已成为提升项目整体执行效能的主要障碍之一。

#### 3.2 EPC 总承包模式应用中的深层挑战

从当前项目施工管理的具体情况来看,EPC 模式,因为其本身的应用优势在整个项目建设中得到了迅速的推广和应用,这种模式应用之后,确实有效提高了项目管理水平,但是在应用过程中也面临一些实际性挑战。比如项目的设计和施工环节衔接不够密切,设计人员在前期设计的管理中没有明确当前项目管控工作的基本要求,对于后续施工的一些内容和施工的要求没有进行综合性的考虑。而且图纸设计与现场实际施工的情况有所出入,这样就会导致后续施工阶段施工的方案和计划会出现频繁变更的情况,从而直接影响了整体的施工效率和施工成本<sup>[2]</sup>。

另外,从 EPC 总承包商的管理情况以及全过程综合管控的模式来看,因为整个油田地面建设工程的规模比较大,需要处理的工作内容和管理的细节也比较多,所以对各个环节的管理工作要求是比较高的。但是目前一些承包商在资源整合和风险管理方面并没有进行细化的管控,也没有从成本控制等角度进行综合性的研究,这样就导致这些方面的工作中依旧存在一些漏洞。没有对各项风险和成本问题进行综合性的管控,这样就会造成一定的能源浪费,可能会降低整个项目建设的效益。

从业主方对整个项目的全过程监督管理工作来看,并没有对管理体系的内容进行严格的要求,这样就无法对一些关键环节进行管控和研究,也难以真正发挥 EPC 模式的实际价值。

#### 3.3 质量与安全管理体系的系统性与穿透力不足

从当前油田地面建设工程施工项目管理工作的情况来看,一些施工单位在进行项目建设管理和质量安全管控的时候,主要还是按照规章制度和阶段性的检查标准,这样的管理方式比较片面,可能会造成一定的管理漏洞,导致整体存在管理不全面的情况。建设单位没有考虑当前项目建设管控的基本标准,未能形成贯穿设计、采购、预制、施工、验收全链条的闭环管控系统。从项目质量管控工作的情况来看,主要还是依赖最终验收环节,对过程性工序的控制不够严格,这样会导致很多隐患得不到及时处理。从安全管理工作的角度来看,相关人员并没有制定完善的安全管理计划和方案,也没有对风险进行前置识别和常态化的动态管理。并没有结合当前项目建设的要求,明确管理工作的基本标准,管理要求和措施往往停留在项目管理层,未能有效穿透至最基层的施工班组和作业人员。

#### 3.4 传统管理方法效率低下与信息化融合不深

建设单位应该了解油田地面建设工程的实际要求以及项目管理工作的标准,因为整个项目建设工程的数据比较烦琐,而且施工现场的面积比较庞大,如果只是依赖人工记录和传统纸质流程进行记录的话,可能会出现很多管理工作的漏洞,而且还会出现数据遗漏的情况。传统的人工管理模式信息传递速度非常慢,在数据统计和环节工作的管理中存在着数据不准确的情况,决策工作模式也相对滞后,难以实现对项目进度、成本、资源的实时动态监控与精准调配。从当前项目建设的情况来看,虽然部分企业在项目管理中引入了项目管理软件和智慧工地系统,但是整体的管理内容和模式还是比较局限的,只是对一些单一的功能进行了简单的应用,并没有真正将这些现代化的管理模式和项目任务的核心流程进行融合,从而出现了严重的“数据孤岛”,无法为项目全生命周期的科学决策提供强有力的数据支撑和智能分析,管理效率的瓶颈亟待通过数字化转型来突破。

### 4 油田地面建设工程的施工项目管理优化策略研究

#### 4.1 构建以 EPC 总承包为核心的集成化管理与协同机制

对于油田地面建设工程的施工管理和项目建设而言,做好全方位的管理优化是非常重要的,建设单位应该深化 EPC 总承包模式的应用和管理,结合当前各环节的管理要求,要构建完善的利益共同体和责任主体。业主方应转变角色,从具体操作管理者转变为目制定者和过程监督者,重点抓好前端定义和后端考核。在项目管理的时候应该要强化内部

项目的系统和管理应用，强制推行设计施工一体化的团队工作管理模式，这样才能够对每一个项目的施工环节进行管控。对于前期设计环节就应该做好深度的调研和分析要求，设计人员要真正到现场进行勘测，还要聘请施工专家介入到设计评审环节，从源头优化设计方案的可建造性和经济性<sup>[3]</sup>。

相关单位需要了解当前项目管控工作的要求，制定完善的管理计划和方案，应该制定完善的项目管理体系，可借鉴“联合体管理”模式，由设计、采购、施工核心单位组成联合管理团队，统一指挥，目标共担，绩效联动，破解传统界面分割难题。结合当前国家针对油田开采的一些要求制定管理的方案和计划，既要保证油田开采的效益还要遵循生态性和持续性的原则，应该设计全过程的精细化监管体系和绩效评价管理标准，确保总承包商的优势发挥与项目整体目标不偏离。

#### 4.2 全面推广一体化建设模式

对于油田地面工程的建设效率提升和管理而言，相关单位应该要了解当前建设广告工作的基本模式，采用全面化的项目管理模式和管理体系，既要保证整体项目建设的质量，还要考虑到经济效益的问题。做标准化的设计和提升，各项工业流程和平面布局模式进行系统的统一和固化可以采用图纸设计的方式，对每一个环节进行管理，要保证管理工作的全面性。

要做好单井施工图纸的设计工作分析物资准备和设计环节的一些要求，比如可以将成套的设备在工厂内部事先完成制造，然后再将制造的产品运输到现场进行吊装。这样的施工模式能够保证各项设备的实际使用效果，而且还要考虑到设备供应的质量和实际周期。模块化施工则是将工厂预制好的橇装模块运抵现场后进行快速拼接，将大量高空、动火、交叉作业转移到条件更好的工厂车间完成，大幅减少现场施工量和人员投入，提升作业安全和质量。负责人需要了解一体化建设的基本要求和各类模式应用的情况，应该真正结合现场的具体施工情况进行系统地调研技术的应用和管控，通过这些模式的创新能够有效地缩短项目建设的周期，从而达到快速释放产能的效果。

#### 4.3 建立贯穿项目全生命周期的精益管理平台

负责人应该了解项目建设的基本情况，改变传统粗放式的管理模式，要真正开展全生命周期的精细化管控工作，了解制造业生产的基本要求，将精细化管理的思想引入到工程建设的领域中，聚焦于消除浪费、创造价值。应该结合之前项目设计的情况进行分析，做好各项经验的设计和完善，真正构建一套全方位的精细化管理体系，这套体系应该要涵

盖项目的启动过程和决策阶段，还要考虑项目后续执行的各个阶段，实施“节点式推动+清单化管理+标准化交付”。同时还应该重视智能化技术和数字化技术的应用结合当前行业发展需要做好智能化的功能和管理，真正建设统一的自动化管理平台。针对项目的进度管理和成分管控等管理模块进行分析，通过平台建设能够做好整个模型的可视化管控，也可以对施工进度进行及时跟踪和处理。了解各项关键设备的使用情况，做好物联网监控和管理研究针对存在的各类安全风险问题进行智能化预警和监测，还应该实现审批流程的线上化管控，对各类经营数据进行动态化分析。数字化交付将成为标准要求，确保建设数据完整移交运营，为智能油田建设奠定基础。

#### 4.4 实施覆盖全员全过程的管控机制

在整个项目建设中，开展全员化的质量管控工作是非常重要的，应该遵循质量安全管控为标准的原则，对每个环节的施工情况都进行细致地检查，项目设计的前期环节再到后期的处理要做好全方位的预防和管控，真正构建严密的全链条管理体系。在质量管控环节，应该做好施工之前的交底工作，各岗位的负责人员应该针对现场的具体施工情况进行深入的调查和分析，还要做好施工之后的验收工作，对每一个环节都进行全程监督。严格执行“三级验收”制度，对不合格工序坚决返工。建立“问题台账—整改销项—复查确认”的动态管理机制，确保问题 100% 闭环。在安全管理方面也应该推行系统化的管理体系做好安全责任的分解和创新，还应该建立远程监控的模式，通过制度、技术、文化多管齐下，织密织牢质量安全的“防护网”。

### 5 结语

总而言之，油田地面建设工程的施工项目管理是一项复杂的工程，施工单位应该结合当前时代发展的挑战和机遇，对传统的管理模式和思维进行创新。要了解当前项目施工管控工作的基本要求和方向，做好集成化和标准化的管控，要实现传统管理模式的全面升级。还要持续探索全新的管理理念和管理方式，保障国家能源安全、推动油气行业高质量发展。

### 参考文献

- [1] 常程.油田地面建设工程项目进度与管理探讨[J].石油和化工设备,2025,28(04):111-113.
- [2] 王钰坪.油田地面工程建设施工管理探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(19): 53-55.
- [3] 刘洁,白惠文.油田地面工程建设施工中存在的问题及整改措施[J].产业创新研究,2023,(22):126-128.

# Research on Assembly Process Optimization and Efficiency Improvement of Planing-Bench Milling-Boring Machine

Zhe Su Si Guo

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

## Abstract

As a high-precision heavy-duty machining equipment, the bench-type milling-boring machine's assembly process directly determines its final performance and production efficiency. This study addresses challenges in precision control and process coordination during assembly by applying digital inspection technology and process reengineering. Through unified assembly benchmarks, optimized process coordination, and resource allocation adjustments, standardized assembly procedures and precision positioning tools were implemented. These measures not only enhanced assembly consistency but also shortened production cycles while reducing labor and material consumption. The research demonstrates that optimized assembly processes can increase equipment pass rates by over 15%, providing actionable insights for improving assembly techniques in similar heavy-duty machine tools.

## Keywords

planer-type milling and boring machine; assembly process; process optimization; efficiency improvement

# 刨台式铣镗床装配工艺优化与效率提升研究

苏喆 郭思

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110142

## 摘要

刨台式铣镗床为高精度重型加工设备, 其装配工艺直接决定设备最终的性能与生产效率。本文就刨台式铣镗床装配过程中出现的精度控制难、工序衔接不紧密的问题, 用数字化检测技术与流程重组的方法, 从装配基准统一、工序协同优化、资源配置调整等方面对工艺进行优化研究。通过制定标准化的装配操作规范, 使用精确的定位工装, 使装配精度一致性得到提高, 同时缩短装配周期, 减少人力与物力的损耗。经过研究得出结论, 优化后的装配工艺可以使设备装配合格率提高15%以上, 给同类重型机床装配工艺的改进提供可行的参考。

## 关键词

刨台式铣镗床; 装配工艺; 工艺优化; 效率提升

## 1 引言

刨台式铣镗床因为具有高精度、大承载的技术特点, 被广泛应用于能源、航天、重型机械等行业的关键零部件加工。装配环节是设备制造的最后核心工序, 装配环节的工艺水平好坏直接影响设备的几何精度、运动精度, 也直接影响整机生产效率、市场交付周期。传统的装配模式依靠经验, 精度不稳定, 工序间存在冗余, 无法满足现在高端装备的高质量、高效率生产要求。进行刨台式铣镗床装配工艺优化研究, 发现工艺改进的余地, 对企业提高产品质量、增强市场竞争力有着重大的现实意义。

## 2 刨台式铣镗床装配工艺核心要素

### 2.1 装配精度控制要素

装配精度是刨台式铣镗床进行精确加工的前提, 分为几何精度和运动精度。几何精度有主轴轴线与工作台面垂直度 $\leq 0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ 、滑枕移动轨迹直线度 $\leq 0.015\text{mm}/800\text{mm}$ 、工作台旋转定位精度 $\leq \pm 3''$  等主要指标。几何精度实现要依靠零件加工精度和装配过程中误差补偿。运动精度包含主轴运转的平稳性、各进给轴的联动协调性。控制要点是传动部件啮合间隙的调节和导向部件贴合度的控制。装配中基准选择、传递是精度控制的关键环节。保证各部件装配基准同设计基准一致。不能使基准转换产生累计误差。温度的变化会直接影响装配精度。控制装配环境的温度, 对零部件进行等温处理等都是保证装配精度的重要手段。

### 2.2 装配流程衔接要素

装配流程衔接效率直接决定整个装配周期。核心就是工序合理安排和物料及时供应。刨台式铣镗床结构复杂, 由

【作者简介】苏喆 (1987-), 男, 中国辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 从事机械制造研究。

主轴箱、滑枕、工作台、床身等许多大型部件组成。各个部件的装配工序之间存在先后依赖关系。前道工序完成质量影响后道工序的进行条件。床身调平和灌浆应在工作台装配前完成。主轴箱预装调试应在滑枕装配前进行。流程衔接处要确定各个工序的起止节点及质量验收标准。防止工序交叉混乱引发返工。另外零部件的预处理工序，清洗、去毛刺、防锈处理等要和装配工序紧密衔接，在 4h 内完成衔接作业。防止预处理后的零部件存放时间过长产生锈蚀或者污染，影响装配质量。

### 2.3 装配资源配置要素

装配资源配置包括人员、工装设备、物料等各个方面。是保证装配工艺顺利实施的前提条件。人员技能水平影响装配质量。刨台式铣镗床装配需要机械、液压、电气等多方面技术。对人员的职业技能要求较高。必须具备扎实专业知识和丰富实践经验的人，才能对在装配过程中发现误差产生的原因做出正确判断，采取相应的纠正措施。工装设备是装配精度的重要保证。专用定位工装、精度  $\leq \pm 3\%$  的力矩扳手、高精度检测仪器等设备的性能及精度直接决定着装配操作的精度。各类检测仪器每月都应当完成一次精度校准。物料供应上要保证零部件的规格型号与设计要求一致。零部件到货时间与装配进度相匹配。防止由于物料缺少或者规格不符造成装配工序的停滞。

## 3 刨台式铣镗床装配工艺现存问题

### 3.1 装配精度一致性不足

刨台式铣镗床传统的装配方式大多依靠操作人员的经验来判断。装配过程中误差的调整没有量化的标准。造成同一批次设备的装配精度偏差最大可达 0.05mm。主轴与轴承间隙的调整，不同操作者用手感判断间隙大小，容易造成间隙过大或者过小，进而影响主轴运转平稳性。另外装配过程中缺少实时精度检测手段。一般只有在整机装配完成后才做精度检测。如果精度不达标就只能进行大规模的拆解返工。不但会增加 25% 的装配成本，还会使装配周期延长 30% 以上。零部件加工误差累积效应没有被控制住。部分零部件的加工偏差在装配过程中没有被及时发现。造成整机精度超出允许范围。

### 3.2 装配流程冗余且协同性差

现有的装配工序划分不合理、冗余环节多。非增值工序占总工序的比例超过 40%。有些工序的设置并没有考虑部件装配的实际需要。造成装配时间的浪费。零部件的反复拆装一方面会使零部件的磨损量增加 0.003 至 0.006mm，增大零部件的磨损程度。另一方面也会延长装配时间。流程协同性差也是一个突出的问题。机械装配、液压管路连接、电气线路敷设等工序之间没有很好的配合。常常出现电气线路敷设完以后，由于液压管路调整需要再拆掉线路的情况。造成大量的无效劳动。另外，装配进度控制没有有效的手段。

各个工序的完成情况不能实时反馈。管理人员不能准确掌握装配进度。不能及时调整生产计划。造成装配周期不可控。

### 3.3 装配资源利用效率偏低

装配资源利用效率低表现在人员配置、工装设备使用、物料管理这三个方面。人员配置上存在技能和岗位不匹配的现象。高技能人员做简单重复性工作造成约 20% 的人力资源浪费。工装设备上专用工装的通用性差。一种工装只能装配某一种型号的设备。使工装制造成本溢价 50%。工装设备的维护保养不到位。部分检测仪器由于没有定期校准而精度偏差  $\geq 0.02\text{mm}$ ，影响装配质量检测的准确性。零部件库存杂乱。部分零部件存放位置不清。装配人员寻找物料所耗费的时间占单台装配工时的 15%。进而影响到装配效率。一些零部件存在过量库存。过量库存占比超过了 30%。造成企业的资金、仓储空间浪费，增加了企业运营成本。

## 4 刨台式铣镗床装配工艺优化策略

### 4.1 构建数字化精度控制体系

针对装配精度一致性不好的问题，创建数字化精度控制体系，实现对装配过程的量化控制。采用检测精度  $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$  的激光干涉仪、轨迹偏差采集精度  $\leq 0.001\text{mm}$  的球杆仪等高精度检测设备，对装配过程中各项关键精度指标实施实时检测。激光干涉仪可以对主轴直线度、同轴度等几何参数实施精确采集。球杆仪可以迅速获取机床运动轨迹偏差数据。检测数据可以实时传送给控制系统，及时发现装配误差并加以调整，防止误差积累。制定标准化的装配操作手册，确定各个工序的精度控制标准和操作步骤，把操作人员的经验转化为量化的技术参数。主轴与轴承间隙值控制在 0.005 至 0.008mm 之间，用力矩扳手控制螺栓拧紧力矩，细化不同工况下参数微调规则，保证装配操作的一致性、稳定性。

创建装配精度数据库，对同一批次设备装配精度数据进行记录，关联设备型号、操作人员、检测时间等各方面信息。通过数据分析找出误差规律，准确找到由于工装磨损、操作手法不同等原因造成的精度波动，为后续工艺改进提供数据支持。同时改善装配环境，建设恒温恒湿装配车间，温度控制在  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，湿度稳定在 45% 至 60%RH，配备温度补偿装置、湿度检测传感器，定时校准环境检测设备，控制温度变化造成的零部件热胀冷缩、防止湿度超标造成的零部件锈蚀，从环境方面保证装配精度。

### 4.2 实施装配流程重组与协同优化

重组：通过协同优化流程来删掉多余的工序，提高工序之间的衔接效率。采用价值流分析的方法，对现有的装配流程中增值工序和非增值工序进行梳理，绘制详细的价值流图，标注各个工序的作业周期、等待时间、物料转运距离，量化非增值环节的占比，剔除不必要的等待、搬运、反复拆装等非增值环节，可直接缩短 25% 的装配周期。零部件预

处理工序与装配工序相结合，在零部件到达之后立即进行清洗、防锈、尺寸复检等预处理，然后用专用转运车送到装配工位上，减少中间存放环节的物料损耗和时间浪费。同时优化工位布局，使工序之间的转运路径缩短 30%。

建立多工序协同作业模式，将机械装配、液压装配、电气装配等工序合理交叉。在床身调平的同时开展电气线路铺设工作。在主轴箱装配的过程中同步完成液压管路的预装，缩短整体装配周期。使用生产信息化管理系统可以实现各工序装配进度、装配质量状态的实时监控。系统反馈延迟小于 10 分钟，可以预警超期工序和装配质量异常的数据。管理人员可以从中了解装配过程中的问题并迅速采取应对措施。系统还能自动生成装配进度报表、质量追溯报告，实现装配进度的精准控制和质量全流程可追溯。

#### 4.3 优化装配资源配置方案

优化人员配置，根据各个工序的技术难易程度、技能要求合理安排人员岗位，将高技能人员安排到精度调整、整机调试等关键工序上。加强人员技能培训，定期开展技术交流和实操考核。培训内容包含高精度检测仪器使用技巧、复杂部件装配工艺等。邀请行业专家开展专题讲座，分享先进的装配经验。设置模拟故障调试等实战项目进行考核。考核结果同绩效薪酬挂钩，鼓励员工自觉提高技能水平。实行关键工序人员轮岗制度，避免长时间同一种类作业造成的工作疲劳和误差，提升装配人员总体技能水平。

改进工装设备，设计通用性强的组合式工装，采用模块化结构设计， $\leq 20\text{min}$  即可完成不同模块的更换，适配不同的机型的装配要求，提高工装的重复利用率，降低工装制造成本。建立工装设备定期维护、校准制度，制定详细的维护校准计划表。每季度做一次工装设备精度校验，及时更换磨损部件，保证精度一直合格。健全物料管理体系，利用条码技术给零部件标识上包含该零部件的规格、批次以及检查信息等信息，对零部件库存进行准确的管理。装配人员扫码查询可以实现零件库存的精准管理，提高查询效率 80%。根据生产信息化系统中的装配进度数据来精准配送物资，使物资供需偏差控制在 5% 以内，防止出现物资积压或者短缺的情况。

#### 4.4 推进装配过程智能化融合升级

以智能技术融合为核心，把装配过程由数字变成智能，提高装配效率和装配质量的稳定性。采用协作机器人、视觉引导装配系统，对螺栓紧固、零部件搬运、密封件装配等重复性高、劳动强度大的工序进行自动化作业。机器人装有

视觉识别模块，能够准确找到零部件的安装位置，识别出装配姿态偏差，通过力控传感技术对装配力度进行实时调整。轴承压装工序中，压装力的控制精度可以达到  $\pm 5\text{N}$ ，装配位置偏差控制在  $0.01\text{mm}$  以内。机器人螺栓紧固扭矩精度  $\leq \pm 2\%$ ，既减轻了操作人员的劳动强度，又减少了由于人为操作失误造成的装配缺陷。另外开发智能装配辅助系统，利用 AR 增强现实技术把装配步骤、精度要求等信息叠加到实际零件上，使装配步骤指引误差小于  $0.005\text{mm}$ ，引导操作人员完成复杂的装配作业。

创建全流程数据驱动的智能决策体系，打通数字化精度控制系统、生产信息化管理系统和装配资源管理系统之间存在的数据壁垒，实现多源数据融合分析。基于大数据分析以及机器学习算法创建装配质量预估模型，利用历史装配数据、实时工序参数、环境数据等各方面变量来预测潜在的质量风险。模型风险识别准确率不低于 95%，可以提前给出参数调节建议。创建装配效率改善模型，根据订单需求、人员技能水平、设备状态等各方面的因素来动态调整生产排程，实现资源调配的实时动态改变。搭建远程运维、协同平台，利用视频、数据共享的方式开展现场装配技术专家的远程指导工作。使技术问题响应时间不超过  $30\text{min}$ ，快速解决复杂技术问题。

### 5 结语

刨台式铣镗床装配工艺优化为系统工程，要从精度控制、流程衔接、资源配置等各方面协同推进。本文通过建立数字化精度控制体系，进行流程重组和协同优化，优化资源配置方案，较好地解决了传统装配工艺精度一致性差、流程冗余、资源利用效率低等问题，达到装配质量和效率双提升的目的。未来可以将智能制造技术引入到刨台式铣镗床装配工艺中，用工业机器人、自动化装配设备代替手工操作，使刨台式铣镗床装配工艺朝着智能化方向发展，为制造业高质量发展提供更强有力的装备支撑。

### 参考文献

- [1] 郝岩利,汝晓艳,冯春凤.重型数控铣镗床镗轴进给机构的可靠性研究[J].模具制造,2024,24(03):121-123.
- [2] 郭鑫.数控卧式铣镗床整机验收项目研究[J].世界制造技术与装备市场,2023,(05):42-45.
- [3] 张晟.数控落地式铣镗床封闭式主轴箱灌胶工艺的技术改进[J].金属加工(冷加工),2023,(07):49-54.
- [4] 郭鑫.PBC130s精密数控卧式铣镗床的研制[J].世界制造技术与装备市场,2022,(01):87-90.